La biodiversidad en la Ciudad de México

Volumen I

La biodiversidad en la Ciudad de México

Primera edición, 2016
D.R. © 2016 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Liga Periférico – Insurgentes Sur 4903 Parques del Pedregal, Tlalpan, 14010 México, D. F. *http://www.conabio.gob.mx*
D.R. © 2016 Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Plaza de la Constitución No. 1. Col. Centro. C.P. 06068. Del. Cuauhtémoc, Ciudad de México. *http.sedema.cdmx.gob.mx*

ISBN CONABIO OBRA COMPLETA: 978-607-8328-71-0
ISBN CONABIO VOLUMEN: 978-607-8328-72-7
ISBN SEDEMA OBRA COMPLETA: 978-607-9206-01-7
ISBN SEDEMA VOLUMEN: 978-607-9206-02-4

Forma de citar:
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA). 2016. *La biodiversidad en la Ciudad de México.* CONABIO/SEDEMA. México.

Coordinación y seguimiento general CONABIO[1] y SEDEMA[2]:
Andrea Cruz Angón[1]
Juan Arturo Rivera Rebolledo[2]
Edith Georgina Cabrera Aguirre[2]
Erika Daniela Melgarejo[1]
Héctor Perdomo Velázquez
Ana Victoria Contreras Ruiz Esparza

Compilación y edición técnica y científica:
CONTEXTO FÍSICO: Silke Cram Heydrich y María del Pilar Fernández Lomelín; **CONTEXTO HISTÓRICO Y SOCIAL**: José Antonio Rosique y Sergio Alejandro Méndez Cárdenas; **MARCO INSTITUCIONAL Y NORMATIVO**: Salvador Muñúzuri Hernández y Javier Riojas Rodríguez; **DIVERSIDAD DEL PASADO**: Joaquín Arroyo Cabrales y Felisa Josefina Aguilar Arellano; **DIVERSIDAD DE HONGOS Y PLANTAS**: Rafael Torres Colín; **DIVERSIDAD DE INVERTEBRADOS**: Zenón Cano Santana, Víctor López Gómez e Iván Castellanos Vargas; **DIVERSIDAD DE VERTEBRADOS**: Uri Omar García Vázquez; **DIVERSIDAD GENÉTICA**: Guadalupe Méndez Cárdenas; **SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**: Lucia Oralia Almeida Leñero; Irene Pisanty Baruch y Teresa González Martínez; **EXPERENCIAS Y OPORTUNIDADES DE CONSERVACIÓN**: Juan Arturo Rivera Rebolledo y Guadalupe Méndez Cárdenas; **HACIA LA ESTRATEGIA**: Oscar Báez Montes y Andrea Cruz Angón.

Corrección de estilo:
José Pulido Mata, Erika Daniela Melgarejo, Karla Carolina Nájera Cordero, Héctor Perdomo Velázquez, Jessica Valero Padilla.

Diseño y formación:
Vianney González Luna, Víctor Manuel Martínez Beltrán.

Gráficas: Vanessa Guadalupe Ramos Urzúa.

Cartografía:
Leonardo Calzada Peña, Jessica Valero Padilla y Diego David Reygadas Prado.

Cuidado de la edición:
Vianney González Luna, Erika Daniela Melgarejo, Karla Carolina Nájera Cordero, Andrea Cruz Angón, Héctor Perdomo Velázquez, Jessica Valero Padilla, Jorge Cruz Medina.

Revisión técnica de textos[3] y listados de especies[4]:
Esteban Benítez Inzunza[3], Oscar Báez Montes[3], Karla Carolina Nájera Cordero[3], Elizabeth Campos Sánchez[3], María Elena García Granados[3], Rafael Eduardo Pompa Vargas[3], Gonzalo Pino Farias[3], Ana Laura García López[3], Sara González Pérez[3], Saúl López Alcaide[3], Ramón Cecaira Ricoy[3], Inti Burgos Hidalgo[3], Yajaira García Feria[3], María Zorrilla Ramos[3], Ana Victoria Contreras Ruiz Esparza[3], Héctor Perdomo Velázquez[3,4], Raúl González Salas[4], Martha Alicia Reséndiz López[4], Susana Ocegueda Cruz[4], Dulce Parra Toris[4], Margarita Hermoso Salazar[4], Claudia Sarita Frontana Uribe[4], Alberto Romo Galicia[4], Diana Hernández Robles[4] y Adriana Iraní Hernández Abundis[4].

Agradecimientos: El Gobierno de la Ciudad de México a través de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), expresan su reconocimiento a todas aquellas instituciones y personas que colaboraron en la elaboración del presente Estudio de Estado, en particular a Fernando Camacho, María Alejandra González Gutiérrez, Martha Beatriz Vega Rosales, Javier Riojas Rodríguez y José Francisco Bernal Stoopen, quienes estuvieron involucrados en etapas iniciales de la elaboración de esta obra.

Salvo en aquellas contribuciones que reflejan el trabajo y quehacer de las instituciones y organizaciones participantes, el contenido de las contribuciones es de exclusiva responsabilidad de los autores.

Fotografías de la portada:
Gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) de Manuel Grosselet/Banco de Imágenes CONABIO.
Hombre en Xochimilco de Adalberto Ríos Szalay/Banco de Imágenes CONABIO.
Maguey (*Agave salmiana*) de Miguel Ángel Sicilia Manzo/Banco de Imágenes CONABIO.
Mariposa cometa (*Pterourus multicaudatus*) Carlos Enrique Galindo Leal/Naturalista.

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

---

[1] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
[2] Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal

La biodiversidad en la Ciudad de México

Presentación

Dr. José Sarukhán Kermez
Coordinador Nacional de la CONABIO

El libro *La biodiversidad en la Ciudad de México* representa un avance significativo para la difusión del conocimiento sobre la diversidad biológica y su importancia para los habitantes de la capital del país.

La obra contiene la información, más confiable y actualizada hasta el momento, sobre la situación actual del patrimonio biológico de la entidad. Las distintas personas de la estructura gubernamental, la academia y la sociedad civil de la ciudad podrán consultarla y utilizarla como elemento base para tomar decisiones, diseñar estrategias de planeación y realizar nuevas investigaciones, aplicadas o básicas, en beneficio del desarrollo sustentable de esta entidad.

Este *Estudio de Estado de la Biodiversidad* es una "fotografía instantánea" del conocimiento y estado de conservación de la biodiversidad en la entidad, por lo que será necesario mantener los esfuerzos para continuar incrementando el conocimiento del capital natural de la ciudad, conforme éste se va produciendo, así como para implementar acciones que ayuden a su conservación y utilización sustentable para beneficio no sólo de las personas dueñas de las áreas donde se encuentra ese capital natural, sino de toda la sociedad.

Tengo la seguridad de que las instituciones locales darán continuidad a los esfuerzos para incrementar el conocimiento sobre la biodiversidad, la identificación y el registro de los cambios, y apoyarán la difusión de esta obra; sólo de esta manera se aplicará y será de utilidad para las instituciones gubernamentales y para los habitantes de la ciudad.

Cabe resaltar que esta obra es un eslabón fundamental para la elaboración e instrumentación de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México*, la cual tiene como objetivo fundamental establecer las prioridades para conservar y hacer uso racional del capital natural, incluidos los servicios ambientales que ese capital provee en beneficio de la sociedad de esta entidad.

La Ciudad de México es una entidad de avanzada en materia de derechos humanos. Las recientes reformas constitucionales que han dado el estatus de estado al anterior Distrito Federal, ahora Ciudad de México, abren una excelente ventana de oportunidad para reformar y armonizar el marco normativo de esta entidad e integrar de una manera más significativa consideraciones de conservación y uso sustentable de la biodiversidad en las políticas públicas. La formulación de una constitución para la entidad 32 de México propiciará circunstancias favorables para asegurar que la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos presentes en la ciudad se integren como un derecho de los capitalinos a un ambiente sano, tal como lo marca el artículo 4º de nuestra Carta Magna.

La biodiversidad en la Ciudad de México proporciona argumentos que deben ser tomados en cuenta para este proceso de reformas políticas que encarará la ciudad en un futuro próximo.

Agradecemos el compromiso y dedicación de los más de 170 autores pertenecientes a 31 instituciones y organizaciones estatales, nacionales e internacionales, sin los cuales no hubiera sido posible la elaboración de este libro, los felicitamos por la consumación de este gran esfuerzo.

Este volumen es un valioso legado para el conocimiento y estado de la biodiversidad, fundamental para la valoración y conservación del capital natural de la Ciudad de México.

Mensaje

Dr. Miguel Ángel Mancera Espinosa
Jefe de Gobierno de la Ciudad de México

La Ciudad de México se encuentra inmersa en la cuenca de México, región sumamente heterogénea cultural, ecológica y biológicamente. Es un lugar privilegiado que posee gran diversidad de ecosistemas en los que habitan miles de especies de vida silvestre, muchas de ellas endémicas, es decir, que únicamente se distribuyen de manera natural en esta región.

El Gobierno de la Ciudad de México firmó un convenio marco de colaboración con la CONABIO a finales del 2009 que fue ratificado en el 2014, con el objetivo de desarrollar políticas públicas orientadas al conocimiento, conservación y uso sustentable de la biodiversidad de la Ciudad de México. A raíz de este convenio, inició la elaboración de *La biodiversidad en la Ciudad de México.*

La presente obra refrenda el compromiso de la ciudad de dirigir todos sus esfuerzos a detener y revertir el deterioro de los ecosistemas y la pérdida de las especies que los habitan.

Como Jefe de Gobierno de la Ciudad de México, es para mí un honor presentar, por primera vez, el diagnóstico más completo y actualizado sobre la diversidad biológica de esta entidad: *La biodiversidad en la Ciudad de México.*

Esta obra representa el esfuerzo sin precedentes de cerca de 171 autores, 31 instituciones mexicanas y extranjeras: academia, sociedad civil, gobierno de la ciudad y gobierno federal, todos especialistas del más alto nivel.

Es importante señalar que por primera vez a nivel nacional, se dedica un capítulo de este estudio a la valoración de los beneficios que la ciudadanía obtiene de sus ecosistemas (servicios ecosistémicos), lo que toma mayor relevancia en una gran urbe como la Ciudad de México.

A lo largo de tres volúmenes, se describe detalladamente el contexto físico, socioeconómico y normativo, así como la diversidad de flora y fauna en sus diferentes niveles de organización (ecosistemas, genes y especies), también se abordan las estrategias y oportunidades de conservación en la ciudad, lo cual constituye un parteaguas en el conocimiento, uso sostenible y conservación de su patrimonio.

La biodiversidad en la Ciudad de México proporciona las bases necesarias para la correcta gestión de los recursos naturales de esta entidad, y es el primer paso hacia la elaboración de la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México* y su plan de acción de la Ciudad de México, instrumentos que orientarán el desarrollo de las políticas públicas hacia la conservación de esta rica diversidad biológica.

Expreso mi mayor agradecimiento a todas y cada una de las personas que compartieron su experiencia y conocimiento en la elaboración de la presente obra.

Contenido

Volumen I

13 Introducción

22 **Sección 1. Contexto físico**

25 Resumen ejecutivo
30 Delimitación del área de estudio y regionalización
36 Clima
56 Unidades geológico-geomorfológicas
65 Paisajes morfoedafológicos
75 Consecuencias de la actividad volcánica del Xitle y el disturbio antrópico sobre las propiedades del suelo y la diversidad vegetal del Parque Ecológico de la Ciudad de México en el Ajusco medio
92 El suelo como ecosistema. ¿Qué se sabe de su biota edáfica?
104 Usos y cobertura de suelo
113 Patrones de distribución del uso del suelo en el occidente
119 Expansión urbana y reemplazo del hábitat natural
127 Expansión urbana en el suelo de conservación
139 Sistemas acuáticos superficiales
145 Importancia del agua subterránea en la conservación de los ecosistemas
165 Costos e impactos de los servicios ecosistémicos que el valle de Tula presta a la Ciudad de México

172 **Sección 2. Contexto histórico y social**

175 Resumen ejecutivo
178 Historia ambiental de la cuenca de México
190 *Estudio de caso:* Dinámica poblacional: un análisis por contornos y regiones
200 *Estudio de caso:* Recursos naturales en la ciudad. ¿Qué y quiénes han de hacer?
203 *Estudio de caso:* Enfoque de género y biodiversidad en la agenda política
209 *Estudio de caso:* Recuerdos de la cosecha lacustre

214 **Sección 3. Marco institucional y normativo**

217 Resumen ejecutivo
218 Marco jurídico e institucional y política pública
252 Análisis de los programas ambientales y política pública en la conservación de la biodiversidad
263 El estudio de la biología y las instituciones de educación superior

272 **Sección 4. Diversidad del pasado**

275 Resumen ejecutivo
278 Biodiversidad del pasado (Cuaternario)
280 Plantas
285 Moluscos fósiles
303 Ostrácodos (Crustacea) de la Cuenca de México: implicaciones paleontológicas y geoarqueológicas
311 Peces de agua dulce
318 Anfibios y reptiles
324 Aves fósiles
332 Mamíferos
341 Conclusión

Introducción

Introducción

Volumen I

Andrea Cruz Angón
Héctor Perdomo Velázquez

La diversidad biológica es un concepto que normalmente se asocia con la variedad de especies de animales y plantas observables a simple vista. El Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas (CDB) utiliza una definición más amplia, que ha sido aceptada por los 196 países parte de este convenio. Abarca la variedad de las especies vivientes, no sólo las plantas (Plantae) y los animales (Animalia), sino también los hongos (Fungi), los protozoarios (Protista) y las bacterias (Monera). Además la biodiversidad también incluye a los ecosistemas que las especies habitan, e incluso la variabilidad genética que estas poseen (CDB 1992, CONABIO 2000) (figura 1). También se ha propuesto incluir a la variedad de plantas domesticadas por el ser humano y sus parientes silvestres (agro-biodiversidad), a la diversidad de grupos funcionales en el ecosistema (herbívoros, carnívoros, parásitos, saprófitos, entre otros), y a la diversidad cultural humana (costumbres, lenguas y cosmovisiones).

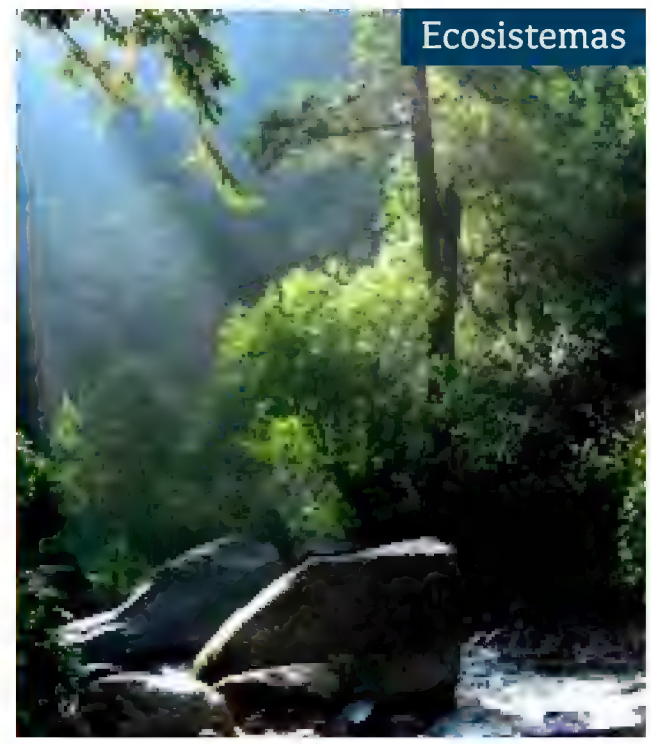


Figura 1. Niveles de organización de la biodiversidad considerados por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) (Modificado de CONABIO 1998). Genes: La Ciudad de México forma parte de unos de los centros de origen y diversificación genética de especies como el maíz (*Zea mays*), la calabaza (*Cucurbita* spp.), el chile (*Capsicum* spp.), el amaranto (*Amaranthus* spp.) y el frijol (*Phaseolus* spp.). (Foto: Adalberto Ríos Szalay/Banco de imágenes de CONABIO). Especies: pocas especies pueden ser consideradas un ícono de la ciudad como el axolote endémico de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) (Foto: Daniel I. Manzur Trujillo). Ecosistemas: el río Magdalena es uno de los ecosistemas que proveen servicios ecosistémicos a sus habitantes (Foto: Lucía Almeida).

Cruz-Angón, A. y H. Perdomo-Velázquez. 2016. Introducción. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp.13-21.

Importancia de la biodiversidad

Los seres humanos valoran a la diversidad biológica desde tres puntos de vista: biológico, dado que cada uno de sus componentes constituye un reservorio de información evolutiva irremplazable como los conocimientos científicos; económico, ya que de la biodiversidad se obtienen bienes esenciales para el desarrollo de la vida diaria como las variedades de vegetales y animales domesticados, materias primas, compuestos, medicinas, entre otros; y cultural, como fuente de inspiración intelectual, literaria, creencias, mitos y cosmovisiones (Toledo 1997).

Por otro lado, la biodiversidad, en específico los ecosistemas, otorgan servicios (ecosistémicos o ambientales) a la sociedad que pueden ser: 1) de provisión, a través de todas las materias primas como fibras, madera, agua y alimentos; 2) de regulación, como la regulación del clima, de enfermedades y control de la erosión; 3) de soporte, como la formación de suelos y reciclado de nutrientes, y 4) culturales, como fuente de inspiración artística o espiritual, sitios recreativos, entre otras (CONABIO 2006, figura 2).

Figura 2. Servicios y beneficios que presta la biodiversidad a través de los ecosistemas. Fuente: modificado de CONABIO 2006.

Megadiversidad

La biodiversidad no se distribuye de manera uniforme en el planeta. En general, las regiones tropicales albergan mayor riqueza de especies. Se ha reconocido que 17 países poseen una biodiversidad de alrededor de 70 % de las especies conocidas en el planeta, es decir son megadiversos. Estos países son Australia, Brasil, China, Colombia, Congo, Ecuador, Estados Unidos, Filipinas, India, Indonesia, Malasia, Madagascar, México, Perú, Papua-Nueva Guinea, Sudáfrica y Venezuela (Mittermeier et al. 1997).

En el caso particular de México, a pesar de que su superficie representa tan sólo 1.5 % del área terrestre del mundo, contiene entre el 10 y 12 % de las especies conocidas (CONABIO 2006, Sarukhán *et al.* 2009). Dependiendo del grupo que se trate, entre nueve y 60 % de las especies registradas en el país son endémicas, es decir, que se localizan únicamente en su territorio (Sarukhán *et al.* 2009).

Desafortunadamente, México comparte una realidad ambiental con factores de presión y tendencias similares a las identificadas en el ámbito

mundial (CONABIO 2006). Lo anterior esta relacionado en gran medida con los modos de producción y obtención de bienes y servicios no sustentables.

La pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas, también conllevan una degradación cualitativa y cuantitativa de los servicios ambientales que prestan y de los cuales depende directamente el bienestar de todas las personas (CONABIO 2006).

Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas

En 1992 durante la Cumbre de Río, en la Ciudad de Río de Janeiro, Brasil, se firmaron tres instrumentos internacionales: el *Convenio Marco sobre Cambio Climático* (CMNUCC), el *Convenio de lucha contra la Desertificación* (CNULCD) y el *Convenio sobre la Diversidad Biológica* (CDB). Este último es el tratado internacional más importante en materia de biodiversidad y persigue tres objetivos fundamentales: 1) la conservación de la diversidad biológica, 2) el uso sostenible de sus componentes y 3) la distribución justa y equitativa de los beneficios provenientes de la utilización de los recursos genéticos. La participación en dicho Convenio es prácticamente global. En la 10ª Conferencia de las Partes del CDB, celebrada en Nagoya, Japón en Octubre de 2010, se aprobó un nuevo Plan Estratégico para el periodo 2011-2020 que establece cinco objetivos estratégicos y 20 metas, las Metas de Aichi.

México y el Convenio sobre la Diversidad Biológica

México fue el 12° país en ratificar el CDB en 1993 y ha cumplido con sus obligaciones como parte contratante de este convenio.

México ha publicado tres volúmenes de *Capital natural de México*, obra que utilizó el enfoque metodológico de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA 2005): I. Conocimiento actual de la biodiversidad; II. Estado de conservación y tendencias de cambio; III. Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad (Sarukhán *et al.* 2009). Ha actualizado su *Estrategia Nacional de Biodiversidad* y su Plan de Acción (ENBIOMEX), con una visión al 2030 y seis ejes estratégicos que habilitarán la integración de consideraciones de conservación y uso sustentable de la biodiversidad en los sectores del desarrollo del país (figura 3).

Instrumentación de la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad: las Estrategias Estatales de Biodiversidad

Desde 2002 la CONABIO, en colaboración con los gobiernos estatales y representantes de los diversos sectores de la sociedad, promueve la iniciativa de las Estrategias Estatales de Biodiversidad (EEB), un proceso que toma en cuenta la diversidad cultural, geográfica, social y biológica de México y que busca que las entidades federativas del país:

1. Cuenten con herramientas de planificación a escala adecuada (estatal) para la toma de decisiones con respecto a la gestión de los recursos biológicos.

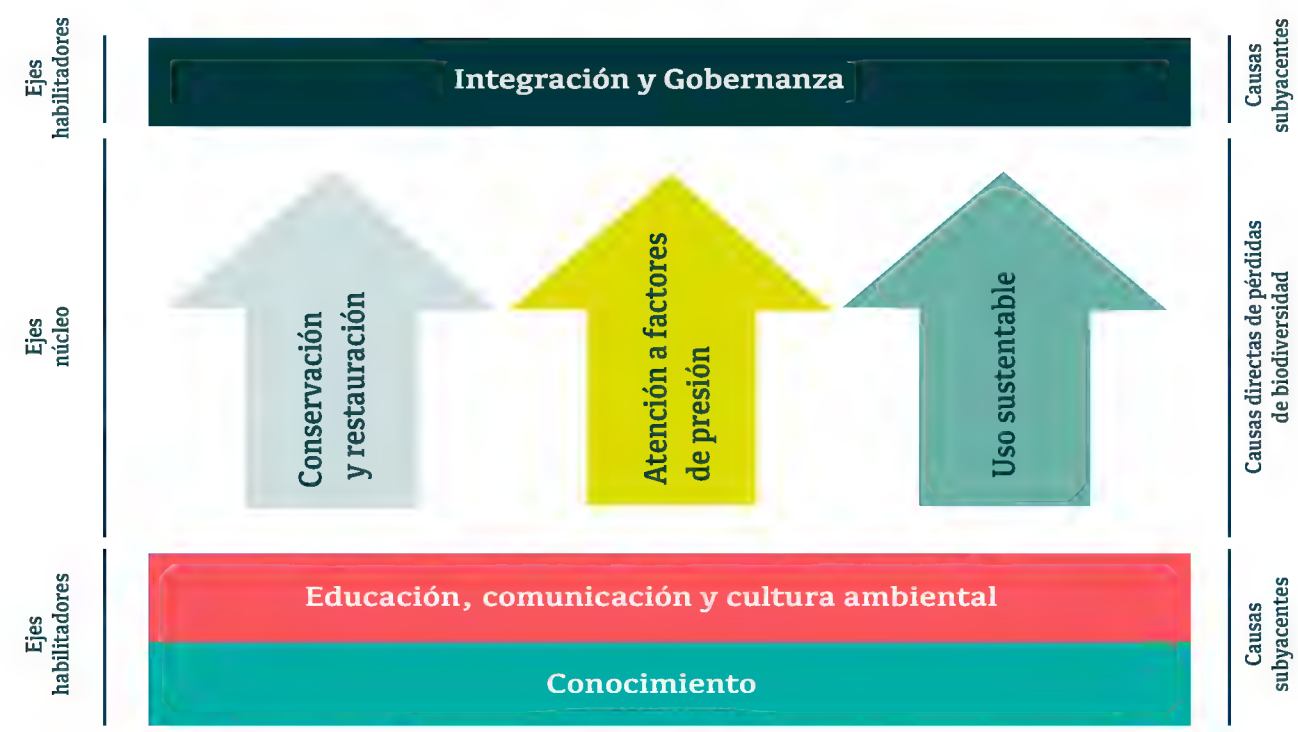


Figura 3. Ejes estratégicos de la Estrategia Nacional de Biodiversidad de México (ENBioMex).

2. Integren elementos de conservación y uso sustentable de la biodiversidad en las políticas públicas.
3. Incrementen la valoración de la biodiversidad, por parte de la sociedad, mediante el establecimiento de programas permanentes de educación ambiental y difusión sobre la importancia de la biodiversidad.

El proceso de las EEB busca completar dos documentos de planificación estratégica importantes (figura 4): **1) Estudio de Estado**, que es un diagnóstico de línea base sobre la biodiversidad del estado en sus diferentes niveles y **2) Estrategia Estatal sobre Biodiversidad**, que es un documento de planificación estratégica que establece las líneas prioritarias, acciones y recursos que cada entidad necesita para conservar y aprovechar sustentablemente su diversidad biológica. La formulación de estos dos documentos requiere de la participación de diversos sectores de la sociedad para identificar acciones prioritarias y ejecutarlas de manera sinérgica y coordinada.

Ciudad de México, protagonista en la conservación de la biodiversidad

La Ciudad de México es una de las primeras megaciudades del mundo, que durante los últimos años ha participado en iniciativas y decisiones nacionales e internacionales para proteger la biodiversidad y mitigar sus amenazas, por ejemplo: el Plan de Acción de Gobiernos Subnacionales, Ciudades y otras Autoridades Locales en Biodiversidad; el Comité Asesor Global de Ciudades y Biodiversidad; el Programa Acción Local para la Biodiversidad, Expertos del índice de Biodiversidad Urbana de Singapur; entre otras (SEDEMA 2012, cuadro 1).

El *Convenio sobre la Diversidad Biológica* (CDB) ha planteado la necesidad de que las ciudades, como la Ciudad de México, consideren la biodiversidad como un elemento básico de su infraestructura, para promover esquemas de planeación y desarrollo ambientalmente sustentables, que permitan la

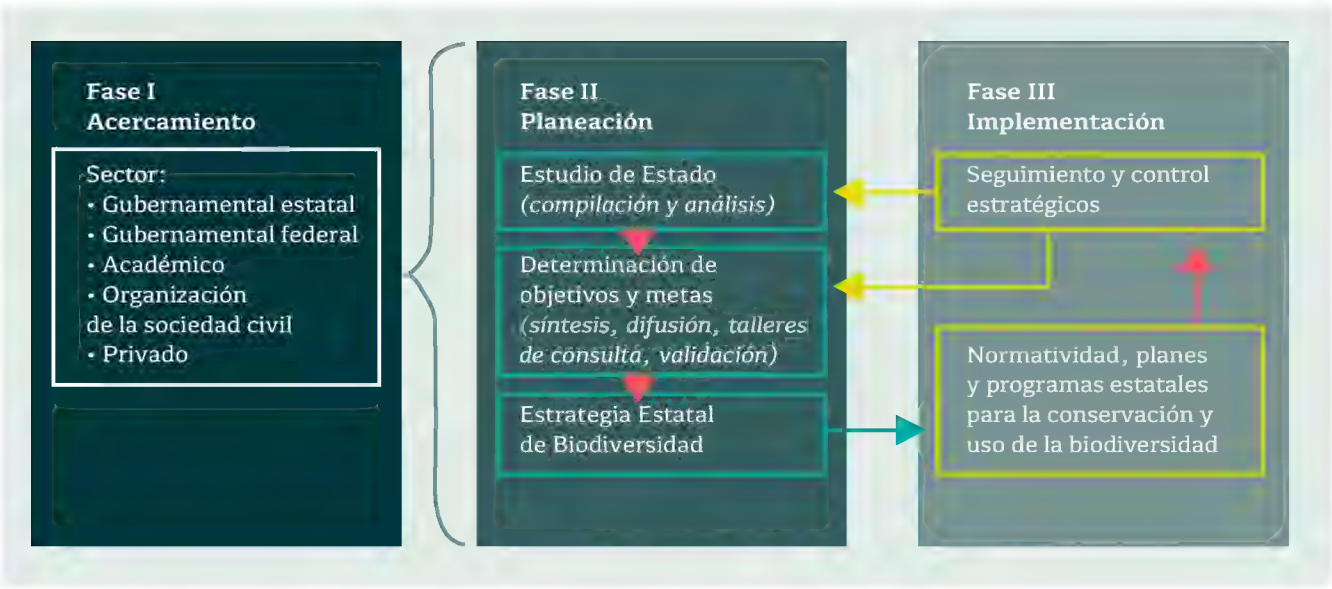


Figura 4. El proceso de elaboración de documentos de planeación estratégica e instrumentación de acciones en el marco del programa de Estrategias Estatales de Biodiversidad coordinado por la CONABIO.

Cuadro 1. Participación internacional de la Ciudad de México en iniciativas de conservación.

Iniciativa	Lugar y año
Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (COP-CDB)	Bonn-Alemania, 2008 Nagoya-Japón, 2010
Plan de Acción de Gobiernos Subnacionales, Ciudades y otras autoridades locales en Biodiversidad	Bonn-Alemania, 2008 Nagoya-Japón, 2010 Montpellier-Francia, 2011 Hyderabad-India, 2012
Comité Asesor Global de ciudades y biodiversidad junto con las ciudades de Curitiva, Bonn, Montreal, Montpelier e Hyderabad.	Nagoya-Japón, 2010
Programa Acción Local para la Biodiversidad, iniciativa de Gobiernos Locales por la Sustentabilidad (LAB-ICLEI).	Durban-Sudáfrica, 2010
Taller de Expertos del Índice de Biodiversidad Urbana (Singapur).	Ciudad de México, 2011
Exposición "Biodiversidad en Ciudades: una exposición sobre la biodiversidad de ciudades líderes".	Hyderabad-India, 2012

Fuente: Elaboración propia

procuración de bienes y servicios ecosistémicos; considerando que, la existencia de ambientes urbanos ricos en diversidad biológica tendrá un efecto positivo en la salud, calidad de vida y economía financiera de sus habitantes.

Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México

La Ciudad de México (antes Distrito Federal) es la entidad más pequeña del país con una extensión de 1 485 km^2 (INEGI 2010). A pesar de comprender 0.1% de la superficie de México, su fisiografía con suelos fértiles y rica en recursos hídricos, da origen a una relevante diversidad biológica con importantes endemismos y especies dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010). Es la capital de México y concentra una población de 8.8 millones de habitantes, que representa una densidad de 5 920 hab/km^2 (INEGI 2010). El crecimiento poblacional y las consecuencias de la expansión urbana, como la

contaminación, son las principales amenazas para la diversidad. Según en un estudio presentado en este libro, la expansión urbana, para el año 2020 remplazará primordialmente, bosques remanentes, pastizales y áreas agrícolas, lo cual puede tener un impacto sobre la diversidad debido al remplazo de los hábitats naturales.

Ante esta situación y consciente de la problemática ambiental que enfrenta la Ciudad de México y de los retos que suponen el mantener un balance entre el desarrollo económico y social con la conservación y aprovechamiento sustentable de su biodiversidad, la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de ésta entidad (SEDEMA), contactó a la CONABIO para ser parte de la iniciativa de las *Estrategias Estatales de Biodiversidad*. Los coordinadores de las distintas secciones que comprenden esta obra se indican en el cuadro 2.

Finalmente, tras un esfuerzo de colaboración sin precedentes para el estado, en el que participaron 31 instituciones estatales, nacionales y extranjeras y cerca de 170 autores (cuadro 3), la Ciudad de México ha cumplido con la primer meta de este proceso mediante la publicación de: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, obra que constituye el compendio más completo y actualizado de información sobre la diversidad biológica de esta entidad.

Para la elaboración de esta obra se realizaron más de 70 reuniones con personal académico de diversas instituciones y del gobierno de la Ciudad.

El Estudio está conformado por una sección introductoria y 11 secciones con sus respectivos capítulos, referencias bibliográficas y apéndices. También se ha integrado una sección con información particular de todos los autores y se han compilado estudios de caso de regiones de la Ciudad de México que han sido ampliamente estudiadas. Los apéndices incorporados en el CD permiten complementar el conocimiento proporcionando información técnica y científica a detalle.

Respecto a las fuentes de información sobre la biodiversidad en la Ciudad de México, se utilizaron los 9 612 533 registros en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB) de la CONABIO. Sin embargo, la principal fuente de información fue el conjunto de datos recabados por los investigadores de las diferentes instituciones que colaboraron en la presente obra, llegando a 7184 especies pertenecientes a diversos grupos biológicos (cuadro 4 y 5). Todos los registros aportados fueron revisados y validados por la subcoordinación de Catálogo de Autoridades Taxonómicas de la CONABIO.

Por último, es importante señalar que *La biodiversidad en la Ciudad de México*, representa un parteaguas del conocimiento y conservación del enorme patrimonio natural de la entidad, al presentarse por primera vez un diagnóstico completo y actualizado, que sentará las bases para el diseño de las acciones y estrategias, que aseguren la conservación y el uso racional y sostenido de la diversidad biológica a través del desarrollo de una segunda fase denominada: la *Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad en la Ciudad de México*.

Cuadro 2. Coordinadores de cada una de las secciones.

Sección	Coordinadores
Contexto Físico	Dra. Silke Cram Heydrich, Dra. María del Pilar Fernández Lomelín
Contexto Histórico y Social	Dr. José Antonio Rosique y Dr. Sergio Alejandro Méndez Cárdenas
Diversidad del Pasado	Dr. Joaquín Arroyo Cabrales y Dra. Felisa Josefina Aguilar Arellano
Marco Institucional y Normativo	Lic. Salvador Muñúzuri Hernández, M. en S. Javier Riojas Rodríguez
Diversidad Ecosistemas	Dr. Jaime Ernesto Rivera Hernández
Diversidad de Hongos y Plantas	M. en C. Rafael Torres Colín
Diversidad de Invertebrados	Dr. Zenón Cano Santana, Dr. Victor López Gómez y M. en C. Iván Castellanos Vargas
Diversidad de Vertebrados	Biól. Uri Omar García Vázquez
Diversidad Genética	Dra. Guadalupe Méndez Cárdenas
Servicios Ecosistémicos	Dra. Lucia Oralia Almeida Leñero, Dra. Irene Pisanty Baruch y Dra. Teresa González Martínez
Experiencias y Oportunidades	M. en C. Juan Arturo Rivera Rebolledo y Dra. Guadalupe Méndez Cárdenas
Hacía la Estrategia	Biól. Oscar Báez Montes y Dra. Andrea Cruz Angón

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Instituciones participantes en la elaboración de *La biodiversidad en la Ciudad de México*.

Instituciones académicas y de investigación
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
Colegio de Posgraduados.
El Colegio de México, A.C.
Instituto de Ecología A.C.
Instituto Politécnico Nacional.
Max Delbruck Center for Molecular Medicine in the Helmholtz Association.
Terra Nostra Earth Sciences Research.
Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo.
Universidad Autónoma Metropolitana.
Universidad Autónoma de Yucatán.
Universidad Autónoma del Estado de México.
Universidad Iberoamericana.
Universidad Nacional Autónoma de México.
University of California.
ORGANIZACIONES NO GUBERNAMENTALES
Cámara Nacional del Cemento.
Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C.
Centro de Estudios Jurídicos y Ambientales A.C.
Herbario Asociación Mexicana de Orquideología.
JIFFRANKA A.C.
UNESCO/División de Ciencias del Agua.
Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
DEPENDENCIAS GUBERNAMENTALES ESTATALES Y MUNICIPALES
Secretaría del Medio Ambiente.
DEPENDENCIAS GUBERNAMENTALES FEDERALES
Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados.

Cuadro 3. Continuación.

Instituciones académicas y de investigación
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología.
Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
Instituto Nacional de Antropología e Historia.
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
Instituto Nacional de Pediatría.
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
*En la parte final del libro se encuentra la información completa de los autores y sus instituciones de adscripción.

Cuadro 4. Número de especies registradas para algunos grupos de organismos registradas en Ciudad de México.

Grupo	Especies
Hongos	296
Musgos	248
Euforbiáceas	33
Labiadas	45
Orquídeas	69
Pinos	8
Arácnidos	420
Protozoarios	634
Mariposas diurnas	155
Ortópteros	47
Libélulas	43
Moluscos terrestres	56
Abejas	1213
Avispas	146
Peces	22
Anfibios	18
Reptiles	39
Aves	355
Mamíferos	87
Fuente: diversas señaladas en los textos correspondientes de esta obra.	

Cuadro 5. Comparativo de la diversidad de algunos organismos en la ciudad respecto al total nacional.

Grupo	México	Ciudad de México según (Sarukhán 2009)	Ciudad de México (esta obra)	Porcentaje en la ciudad respecto al total nacional (%)
Orquídeas	1200	51	69	5.7
Pinos	61	17	8	13.1
Libélulas	349	41	43	12.3
Peces	2 692	0	22	0.8
Anfibios	361	33	18	4.9
Reptiles	804	96	39	4.8
Mamíferos	535	82	87	16.2
Aves	1 096	249	355	32.2
Fuente: Sarukhán 2009, distintos textos en esta obra.				

Referencias

CDB. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 1992. En: <*http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-un-es.pdf*>, última consulta: 17 de septiembre de 2015.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país. CONABIO, México.

CONABIO. 2000. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. 2006. Capital natural y bienestar social. CONABIO, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. XIV Censo General de Población y Vivienda 2010. Resumen D.F. En: <*http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/col/default.aspx?tema=me&e=06*>, última consulta: 4 de septiembre de 2015.

MA. Millennium Ecosystem Assessment 2005. *Ecosystems and Human Well-being:Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

Mittermeier, R., C. Goettsch y P. Robles Gil. 1997. *Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del Mundo*. CEMEX. México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

SEDEMA. Secretaria de Medio Ambiente. 2012. Conservación y uso sustentable de la biodiversidad en el Distrito Federal. México.

Sarukhán, J., *et al*. 2009. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. CONABIO, México.

Toledo, V.M. 1997. La diversidad ecológica de México. Pp. 111-138. En: *El Patrimonio Nacional de México*, Vol. 1. E. Florescano, (ed.). FCE, México.

Toledo V. y M.J. Ordoñez 1998. El panorama de la biodiversdad de México: una revisión de los hábitats terrestres. Pp. 739-757. En: *Diversidad biológica de México; orígenes y distribución*. T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Instituto de Biología, UNAM. México.

Contexto físico

Foto: César Hernández Hernández

1

Resumen ejecutivo

Contexto físico

Silke Cram Heydrich
Diego David Reygadas Prado
María del Pilar Fernández Lomelín

La Ciudad de México tiene una extensión de 1 485 km² y aunque sólo ocupa 0.1% de la superficie de México, ha dado lugar a un diverso mosaico de paisajes y a una alta diversidad biológica con importantes endemismos, debido a su ubicación geográfica, así como a la confluencia de factores climáticos, geológicos, edáficos y a la interacción de un sistema natural y uno socioeconómico, los cuales se abordaran en los siguientes capítulos.

Las formaciones geológicas presentes en la ciudad son de origen volcánico de diferentes edades, las cuales conforman seis unidades de relieve: sierra de Guadalupe (de más de 2 millones de años), volcán compuesto Ajusco (de más de 270 mil años), sierra de las Cruces y piedemonte de la sierra de las Cruces (de más de 200 mil años), volcanes (sierra) de Santa Catarina y campo volcánico Chichinautzin (de menos de 40 mil años), además de la planicie lacustre, resultado del desecado artificial de los lagos de la cuenca hace menos de 500 años.

La ciudad se localiza en la cuenca de México, que es una altiplanicie aproximadamente a 2 240 msnm, y cuya mayor altitud la representa el volcán Ajusco a 4 mil msnm. Esta cuenca es de tipo endorreica y cuenta con una salida artificial hacia el río Tula, misma que fue construida para drenar la planicie lacustre y así evitar inundaciones.

El relieve (laderas de montaña, lomeríos, piedemontes y planicies), los tipos de clima y la edad del material volcánico presente en la ciudad han propiciado la formación de cinco tipos principales de suelos: Phaeozem, Leptosol, Andosol, Luvisol y Solonchack. Estos suelos aportan servicios ambientales como: infiltración, mantenimiento de vegetación, captura de carbono, hábitat de organismos, recreación, regulación de erosión, entre otros, los cuales son fundamentales para las actividades productivas, el sostén de la biodiversidad y la dinámica de la urbe. Un ejemplo de cómo el suelo se desarrolla de forma diferenciada en el terreno lo muestra Siebe y colaboradores, en un capítulo referente al Parque Ecológico de la Ciudad de México (2004); en dicho estudio se justifica el manejo diferenciado que se les debe dar a las unidades de terreno en función de sus atributos, capacidades y de la calidad de sitio.

La actividad antrópica en la ciudad, ha dado lugar al desarrollo de suelos antrópicos (Antrosol y Tecnosol), que se caracterizan por estar fuertemente modificados. Estos suelos son resultado del aporte de diferentes materiales (cascajo, composta, lodos, etc.) y constituyen el tipo de

Cram, S., D. Reygadas P. y P. Fernández-Lomelín. 2016. Resumen ejecutivo. Contexto físico. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 25-28.

suelo más común en todas las áreas verdes (parques, jardines, camellones). A pesar de lo anterior, los suelos antrópicos tienen funciones importantes, entre ellas, la de ser hábitat de una compleja red trófica, el edafón (todos los organismos que viven en el suelo), que es un ecosistema muy diverso y abundante del que se conoce poco.

Esta entidad federativa con la superficie más pequeña, pero con la ciudad más grande del país, presenta cinco tipos de clima determinados por la interacción de diversos factores como su orografía, su posición latitudinal y altitud, así como sus climas, los cuales van de los semiáridos en las partes bajas, a los subhúmedos, templados y semifríos. Estos climas provocan temperaturas medias, entre los 8 y 22 °C, y regímenes de precipitación de 1 000 a 1 500 mm por año.

En la Ciudad de México resalta un fenómeno típico de las zonas urbanas con alto porcentaje de sellamiento de su superficie, denominado isla de calor. Este fenómeno es originado por la absorción de la radiación solar en diversas superficies urbanas, lo cual genera un aumento de la temperatura de hasta 4 °C con respecto a las áreas verdes y modifica la dinámica natural del clima en la ciudad (Jauregui 1990).

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México viven más de 20 millones de habitantes, de los cuales 43% corresponde a la Ciudad de México. Es indispensable asegurar la provisión de agua para los habitantes, los ecosistemas y las áreas verdes de esta megalópolis, por lo que es determinante entender la dinámica, tanto del agua superficial como del agua subterránea en la cuenca de México. El comportamiento, cantidad y calidad del agua subterránea se explica con base en al menos cinco unidades hidrogeológicas, a través de flujos regionales, intermedios y locales, con áreas de recarga y descarga específicas; sin embargo, es necesario subrayar el gran impacto de las actividades antrópicas, que han modificado la dinámica original del agua subterránea, especialmente si se considera que en la ciudad y su zona conurbada se encuentra la ciudad más grande del país.

Así como le ha sucedido al agua subterránea, también los cuerpos de agua superficial que integraron el sistema lacustre de la cuenca de México han sufrido alteraciones irreversibles, como el drenado del sistema de lagos de hace 500 años y el entubamiento de un gran número de los ríos que cruzan en la actualidad. Si bien este tipo de acciones ha solucionado ciertos problemas, como enfermedades e inundaciones, transportándolos a otros lugares, también impide la recarga del sistema de acuíferos y propicia el hundimiento del suelo. Algunos cuerpos de agua superficiales, ríos y humedales siguen manteniendo importantes poblaciones de fauna, aunque es necesario señalar que la mayoría están muy contaminados, especialmente en las zonas bajas, como es el caso del río Magdalena (Mazari-Hiriart *et al.* 2000, Ramos-Leal *et al.* 2010); estos cuerpos de agua son importantes sitios de recarga, al mismo tiempo que evitan las tolvaneras generadas en los lechos secos de los ríos.

Se estima que en 2008, en la zona metropolitana se empleaban en promedio 85.7 m^3/s de agua, de los cuales 9% era de reuso (Jiménez *et al.* 2008). Toda

el agua residual que recibe un tratamiento (cerca de 3.1 m^3/s) es reutilizada en lagos como el Nabor Carrillo, en canales como los de Xochimilco y para el riego de áreas verdes urbanas (CONAGUA 2009). El resto del agua que se usa en la Ciudad de México y que se recolecta en el alcantarillado se desagua al valle de Tula, en donde se utiliza para regar, depurándose de forma natural al filtrarse a través del suelo. Lo anterior, representa ahorros económicos de más de 3 500 millones de pesos en tratamiento de aguas residuales, pero resulta en una pérdida de agua que no se infiltra en los acuíferos que aportan agua a la Ciudad de México.

En la Ciudad de México se distinguen tres paisajes: el urbano, que ocupa el 48% de la superficie; el paisaje natural, que ocupa 36%, con comunidades vegetales típicas de áreas templadas y semiáridas entre los que destacan los bosques de pino, oyamel, encino, mesófilo de montaña y bosques mixtos, así como pastizales de alta montaña, tulares, matorrales xerófitos y crassicalues, y 16% restante, que corresponde a un paisaje intermedio o periurbano, con áreas agropecuarias y semiurbanizadas. En el capítulo "Los patrones de distribución del uso del suelo en el occidente de la Ciudad de México", presente en este volumen, se describe cómo el relieve determina el patrón de uso de suelo con base en un ejemplo de la región de montaña al occidente, y resulta evidente la necesidad de conocer la tasa y los patrones de urbanización en el marco de la restauración y la conservación de la biodiversidad, en y alrededor de esta ciudad.

Las predicciones sobre desarrollo urbano indican que la proporción de la población mundial que vive en zonas urbanas y periurbanas va en aumento (Pavao-Zuckerman 2008) y la Ciudad de México no es la excepción. La tasa de cambio de uso de suelo es continua y durante el periodo 1970-2010 fue de 2.3% (SMA 2012), cuyo principal cambio fue el uso urbano. Por citar un ejemplo, la superficie urbanizada del denominado "suelo de conservación (SC)" de la Ciudad de México aumentó de 987 ha, en el año de 1970, a 11 278 ha para el 2010 (SMA 2012). Lo anterior muestra un proceso continuo de transformación, como resultado de asentamientos humanos irregulares con marcadas diferencias entre determinadas delegaciones, ya sea por el medio físico en el que se da la urbanización o por aspectos sociales, administrativos y políticos. El pronóstico no es alentador, ya que la tendencia urbanizadora continuará sobre las pocas áreas verdes de la zona urbana, así como sobre las zonas periurbanas agrícolas y la reducida superficie con ecosistemas naturales que todavía tiene la ciudad (Suárez-Lastra y Delgado 2010).

La Ciudad de México es impulsada por dos sistemas que interactúan intensamente: el sistema natural y el socioeconómico. El primero está compuesto por diferentes subsistemas o factores que son: la atmósfera (clima), la litósfera (rocas), la hidrósfera (agua), la pedósfera (suelo) y la biósfera (biodiversidad); mientras que el segundo está representado por la aglomeración urbana y humana más grande de la República Mexicana. Lo anterior resulta en patrones de diversidad muy especiales los cuales es necesario estudiar, reconocer y apreciar, para lograr un equilibrio entre estos dos sistemas. Para alcanzar dicho objetivo, es imperativo adecuar y poner en marcha una

normatividad que regule la modificación del medio abiótico (suelo, agua, aire, relieve), para mantener los nichos tan particulares que se conforman en la ciudad, e implementar con esto esquemas de manejo adecuados, para los ecosistemas naturales y áreas verdes que sobreviven en la ciudad, los cuales representan hábitats valiosos para el desarrollo de la biodiversidad (Von der Lippe *et al.* 2005, Bräunigera *et al.* 2010).

Referencias

Bräunigera, C., S. Knappa, I. Kühna y S. Klotza. 2010. Testing taxonomic and landscape surrogates for biodiversity in an urban setting. *Landscape and Urban Planning* 97:283-295.

Castelán, E. y A. Mejía. 2011. Política ambiental en el suelo de conservación del Distrito Federal. Pp. 253-275. En: Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades. G. Aguilar e I. Escamilla (coords.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)/Porrúa. México.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2009. Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México.

Jauregui, E. 1990. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings* 15-16:457-463.

Jiménez, B., R. Gibson, J.E. Becerril, *et al.* 2008. Complemento de la caracterización del agua de consumo humano en el valle de Tula. Convenio No. PSVM/ODA/ATE/AD13/06. CONAGUA, Fideicomiso del Valle de México. Informe final.

Mazari-Hiriart, M., L.A. Bojórquez, A. Noyola y S. Díaz. 2000. Recarga, calidad y reuso de agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Pp 137-165. En: *Dualidad población-agua. Inicio del tercer milenio.* M. Mazari (comp.). El Colegio Nacional. México.

Pavao-Zuckerman, M.A. 2008. The nature of urban soils and their role in ecological restoration in cities. *Restoration Ecology* 16:642-649.

Ramos-Leal J.A., C. Noyola-Medrano y F.P. Tapia-Silva. 2010. Aquifer vulnerability and groundwater quality in mega cities: case of the Mexico Basin. *Environmental Earth Sciences* 61(7):1309-1320.

Siebe, C., V. Rodríguez-Lara, P. Schaaf y M. Abrams, 2004*a*. Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa, and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico-City:implications for archaeology and future hazards. *Bulletin of Volcanology*. 66:203-225.

SMA. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. 2012. Cambio de Uso de Suelo en el Distrito Federal. Dirección de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Manejo Ambiental del Agua. Reporte interno.

Suárez-Lastra, M. y C.J. Delgado. 2010. Patrones de movilidad residencial en la Ciudad de México como evidencia de co-localización de población y empleos. Pontificia Universidad Católica de Chile. ***EURE***. 36:67-91.

Von der Lippe, M., I. Säumel e I. Kowarik. 2005. Cities as drivers for biological invasions - the role of urban climate and traffic. *Die Erde* 136(2):123-143.

Delimitación del área de estudio y regionalización

Diego David Reygadas Prado

Introducción

La Ciudad de México se localiza a 19° 36' N y 19° 03' S de latitud norte, y a 98° 57' E y 99° 22' O de longitud oeste; colinda al norte, este y oeste con el Estado de México y al sur con el estado de Morelos (INEGI 2000). Ocupa una extensión de 1 485 km^2, que representa 0.1% de la superficie del país. Forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana y se caracteriza por tener más de 200 volcanes (Velázquez y Romero 1999) y cadenas montañosas como las sierras de Chichinautzin y las Cruces al sur y poniente, la sierra de Santa Catarina en su porción central y la sierra de Guadalupe al norte. Administrativamente se compone por 16 delegaciones políticas con una población de 8 873 017 habitantes (INEGI 2010).

Con fines de planeación territorial, el 16 de julio de 1987, en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, se establece una división para la entidad que da origen a dos categorías: área de desarrollo urbano, usualmente denominada como suelo urbano, y área de conservación ecológica, conocida como suelo de conservación (SC), con 41 y 59% de su extensión, respectivamente. El suelo urbano comprende principalmente el área de planicie urbanizada de la ciudad, en tanto que el suelo de conservación incluye áreas con ecosistemas naturales, localizadas en su mayoría sobre relieves abruptos, como el de las sierras de Guadalupe, Santa Catarina, Chichinautzin y Ajusco, entre otras (figura 1). Desde la perspectiva de la conservación de la biodiversidad, esta división es la base de las actividades de las instancias del gobierno local.

Si bien la Ciudad de México posee el territorio con menor superficie en el país, su ubicación biogeográfica da origen a una relevante diversidad biológica con importantes endemismos y, en las últimas décadas, con un mayor número de especies con algún estatus dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010). Esto se deriva de la enorme presión que sobre los recursos naturales ejerce la población de la Ciudad de México, incluidos en ésta los núcleos rurales originarios, esto es, los poblados originarios que se asentaron en las áreas rurales de la Ciudad de México, localizados en su mayoría al sur de esta entidad, como San Bernabé Ocotepec, San Lorenzo Acopilco, Santa Rosa Axochiac, San Andrés Totoltepec, San Miguel y Santo Tomás Ajusco, San Miguel Topilejo, San Pablo Oxtotepec, Santa Cecilia Tepetlapa, San Jerónimo Miacatlán y Santa Ana Tlacotenco, entre otros.

Dicha ubicación, aunada al origen geomorfológico de la cuenca de México en donde se asienta la ciudad (Lugo 1984), propicia la formación de un mosaico paisajístico que, desde la perspectiva geoecológica, motiva el estudio diferenciado de los recursos naturales y la biodiversidad.

Además de lo anterior, la cercanía de las instituciones educativas ha favorecido que la Ciudad de México sea una de las entidades más estudiadas del país. Sin embargo, la intensidad y escalas de trabajo varían en cada uno de los principales paisajes que lo componen, en particular en su zona sur, donde se localiza

Reygadas P., D. 2016. Delimitación del área de estudio y regionalización. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 30-35.

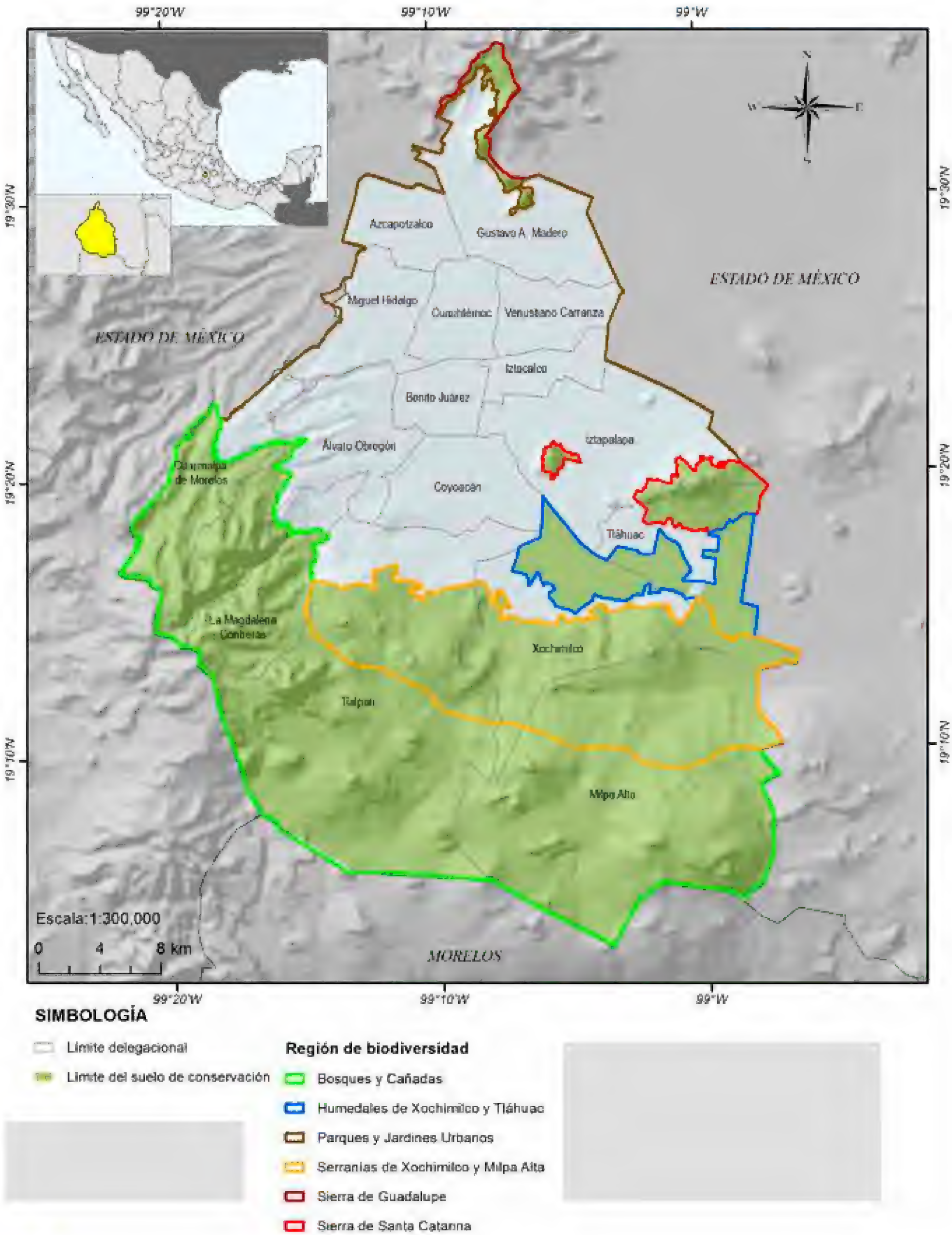


Figura 1. Delimitación del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

la mayor parte del suelo de conservación, razón por la cual se consideró apropiado hacer una diferenciación espacial del conocimiento que sobre la biodiversidad de la Ciudad de México sustentará la estrategia de biodiversidad en esta entidad.

Para lograr este objetivo se elaboró la regionalización para el diagnóstico de la biodiversidad de la ciudad, que toma en cuenta características del entorno biofísico que sin duda alguna son diferenciadoras de la riqueza y distribución biológica en la localidad. La regionalización tiene como finalidad contextualizar y facilitar la integración del conocimiento que sobre diversidad biológica aportan los autores del Estudio de Biodiversidad de la Ciudad de México. A diferencia de otros estudios, esta regionalización prevé dar mayor objetividad al diagnóstico de la biodiversidad y de esta manera constituirse en un soporte espacio-temporal para el planteamiento de la estrategia para el conocimiento de la diversidad de la entidad.

En la construcción de la regionalización se tomaron en cuenta: la cartografía básica disponible sobre topografía, toponimia, cuencas, vías de comunicación, uso del suelo y vegetación, hidrología y límites delegacionales, así como algunas capas con zonificaciones que atienden distintos aspectos dentro de la ciudad, tales como la zonificación del Bosque de Agua (Greenpeace México 2006); el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal vigente decretado en agosto del 2000 (Gobierno del Distrito Federal 2000) y la propuesta del modelo de ordenamiento que, como parte de la actualización del programa antes mencionado, se obtuvo en diciembre del 2009 (Gobierno del Distrito Federal 2009); las áreas de valor ambiental de la Ciudad de México (Gobierno del Distrito Federal s/f); la propuesta de zonificación para la reestructuración del Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal (Velázquez 2001) y la zonificación de Áreas Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad para la región de Montaña del Sur de la Cuenca de México (Velázquez y Romero 1999).

A partir de la sobreposición de la cartografía y con un enfoque de paisaje, se delimitaron áreas con condiciones geoecológicas similares, con lo que se obtuvo la regionalización para el estudio de estado de la biodiversidad en la ciudad, la cual se compone de seis regiones que a continuación se describen y que son mostradas en la figura 2.

Bosques y Cañadas

Esta región la componen los macizos más grandes y mejor conservados de bosque y la zona de barrancas ubicados al sur y suroeste de la ciudad, dentro de los límites del suelo de conservación, que ocupa una superficie de 53 238.4 ha. De oriente a poniente destacan los bosques circundantes de los volcanes Tláloc, Chichinautzin, Pelado, Ajusco, Malacatepec y San Miguel, en tanto que las principales barrancas son, en el mismo orden que los bosques, Eslava, Magdalena, Anzaldo, Santo Desierto, Muculoa, Oyametitla y Arroyo Borracho. Dentro de ésta se localizan bosques de oyamel (*Abies* spp.), pino (*Pinus* spp.), pino-encino (*Pinus* y *Quercus*) y algunos relictos de bosque mesófilo de montaña en las inmediaciones de los dinamos de Contreras. Administrativamente esta región abarca la mayor parte de las delegaciones Milpa Alta, Tlalpan, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa.

Humedales de Xochimilco y Tláhuac

Esta región está integrada por la zona chinampera de Xochimilco, San Gregorio, San Luis Tlaxialtemanco, Tláhuac y las tierras bajas de cultivo, otrora la cuenca lechera de Tláhuac. Ocupa una superficie de 6 032.1 ha y está comprendida en las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac. Su inclusión en la regionalización obedece a su importancia como zona de regulación hidráulica, a la gran

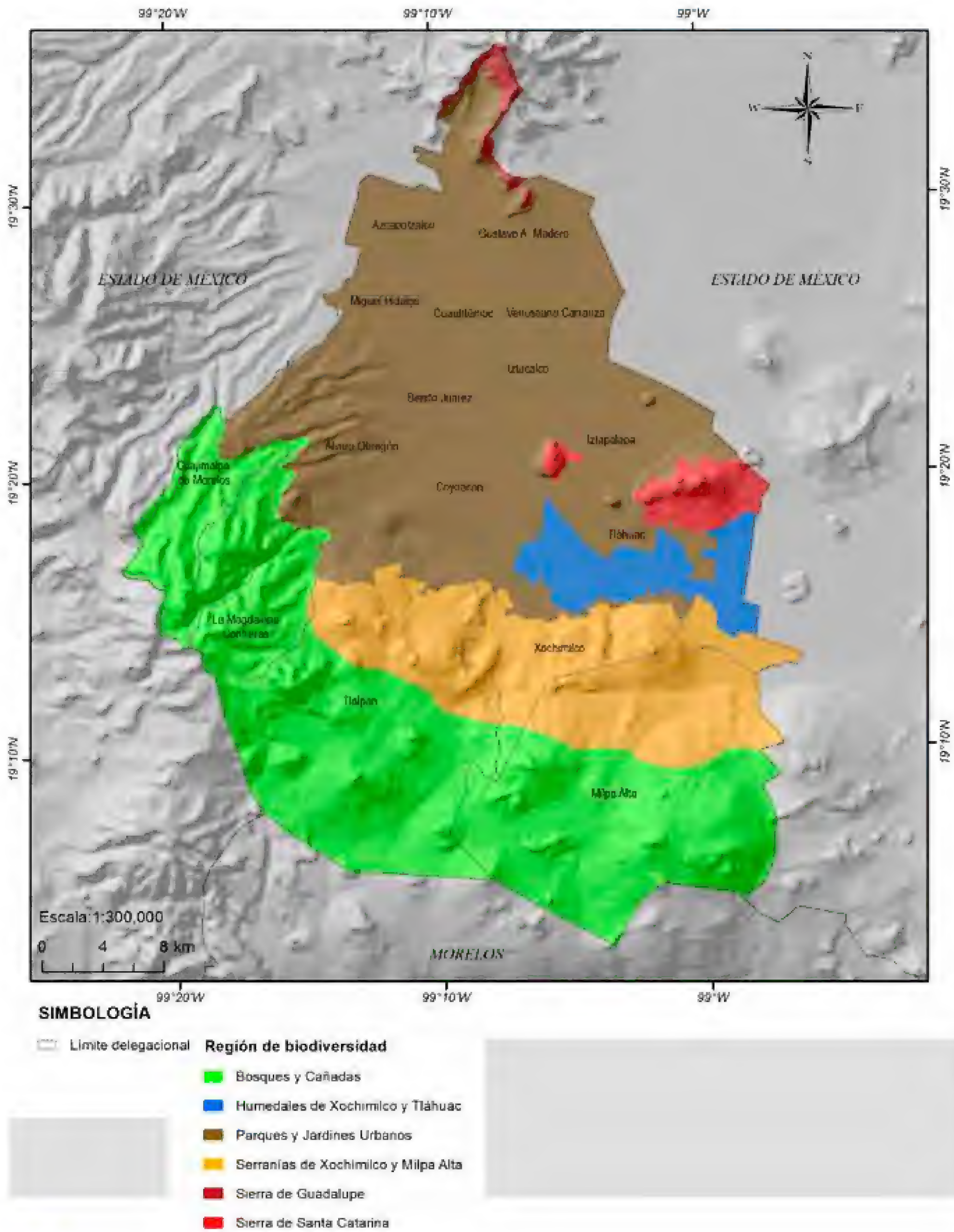


Figura 2. Regionalización del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

diversidad de aves y riqueza cultural, así como a su paisaje característico en la ciudad, en el que destacan árboles como el ahuejote (*Salix bonplandiana*) y vegetación acuática y subacuática de tular (*Typha latifolia, Schoenoplectus tabernaemontani*, entre otras) asociada con la actividad chinampera.

Parques y Jardines Urbanos

Esta región considera los parques y jardines ubicados en suelo urbano, esto es, fuera del suelo de conservación. Incluye también las áreas naturales protegidas (La Loma, Fuentes Brotantes, Histórico de Coyoacán, entre otras) y áreas de valor ambiental (río Becerra, Dolores, Tarango, entre otras) situadas en suelo urbano, así como la continuación del sistema de barrancas del sur poniente de la ciudad, algunas de las cuales se mencionan en la región Bosques y Cañadas. Ocupa una superficie de 60 728.8 ha y, con excepción de Milpa Alta, se distribuye en las 15 delegaciones restantes de la entidad, abarcando la totalidad de algunas de éstas, como es el caso de Coyoacán, Benito Juárez, Iztacalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Azcapotzalco. Esta región comprende las áreas verdes en donde los ambientes originales han sido modificados por las actividades antropogénicas y que aún mantienen características biofísicas y escénicas, mismas que contribuyen a mantener la calidad ambiental de la ciudad y constituyen nichos para la biodiversidad.

Serranías de Xochimilco y Milpa Alta

Esta región comprende un área que presenta elevada fragmentación de los bosques y disminución drástica en el hábitat de la fauna, debidas principalmente al cambio de uso del suelo para uso habitacional. Con una superficie de 23 745.6 ha, esta región colinda al norte con el límite del suelo de conservación y, además de las delegaciones de Xochimilco y Milpa Alta, se integra con una porción de la delegación Tlalpan. Constituye un área de amortiguamiento entre la parte con mayor accesibilidad topográfica de la región de Bosques y Cañadas. A pesar de la presión a la que se ve sometida, dentro de esta región se localizan superficies importantes con bosques de pino (*Pinus* spp.), pino-encino (*Pinus* y *Quercus*) y encino (*Quercus* spp.), como los observados en los volcanes Teoca, Zompole y Yololica.

Sierra de Guadalupe

Esta región incluye, principalmente, las áreas naturales protegidas de sierra de Guadalupe, La Armella y el Parque Nacional del Tepeyac. Se ubica en la delegación Gustavo A. Madero y ocupa una superficie de 1 289.3 ha. La mayor parte de esta región está cubierta por matorral xerófilo conformado por palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), uña de gato (*Mimosa biuncifera*) y tuna mansa (*Opuntia streptacantha*), entre otras; así como remanentes de encinares (*Q. rugosa* y *Q. castanea*), mezclados con madroño (*Arbutus xalapensis*), tepozán (*Buddleja cordata*) y palo loco (*Pittocaulon praecox*). También presenta manchones irregulares de plantaciones forestales con presencia de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* y *E. globulus*), pino (*P. halepensis* y *P. radiata*), retama de tierra caliente (*Senna multiglandulosa*), cedro blanco (*Cupressus lusitanica*) y casuarina (*Casuarina equisetifolia*).

Sierra de Santa Catarina

La Sierra de Santa Catarina se ubica en la porción central de la Ciudad de México y junto con el área natural protegida Cerro de la Estrella conforma otra región en la ciudad, con una superficie de 3 137.7 ha, dentro de las delegaciones Iztapalapa y Tláhuac. Su composición florística es similar a la de la región de la Sierra de Guadalupe, con una superficie importante de pastizal inducido y mayor número de especies producto de la reforestación, como el fresno (*Fraxinus uhdei*), el trueno (*Ligustrum lucidum*) y

el álamo (*Populus* sp.). Junto con la Sierra de Guadalupe es la región más seca de la ciudad, a pesar de la presión de cambio de uso de suelo a la que está sujeta por su cercanía a la zona urbana. En esta región se observan importantes endemismos, por lo que se constituye en una especie de isla para la conservación de la biodiversidad.

Conclusión

En el contexto del Estudio de la Biodiversidad de la Ciudad de México, esta regionalización permitirá precisar espacialmente las especies de flora y fauna mayor y menormente estudiadas; por tanto, podrá constituirse en un apoyo central en la elaboración de la Estrategia para la Biodiversidad de la Ciudad de México, orientando los programas, proyectos y actividades que de ésta emanen. Adicionalmente, podrá ser empleada para orientar estudios de monitoreo de flora y fauna, valoración de servicios ambientales y salud de los bosques, entre otros, así como sustento para la aplicación de programas dirigidos al sector productivo y de conservación, tales como reconversión productiva, rescate de especies nativas de maíz y amaranto, pago por servicios ambientales, unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) para especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción, etcétera.

Referencias

Gobierno del Distrito Federal. gdf. 1987. Declaratoria de la línea limítrofe entre el área de desarrollo urbano y el área de conservación ecológica. Publicada el 16 de julio de 1987 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2000. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. Publicado el 8 de agosto del 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2009. Actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (inédito).

——. S/f. Áreas de valor ambiental. En <*http://www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php?opcion=12*>, última consulta: 25 de mayo de 2012.

Greenpeace México. 2006. Por el Gran Bosque de Agua. En <*http://www.greenpeace.org/mexico/es/Footer/Descargas/reports/Bosques/el-gran-bosque-de-agua/*>, última consulta: 24 julio de 2012.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2000. Superficie de la República Mexicana por Estados. México.

——. 2010. Censo de Población y Vivienda. Resultados preliminares. México.

Lugo, H.J. 1984. Geomorfología del sur de la cuenca de México. Serie Varia 1(8). Instituto de Geografía, UNAM. México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Velázquez, A. y F.J. Romero. 1999. Biodiversidad de la región de montaña del sur de la cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico. Universidad Autónoma Metropolitana (uam)/Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (sedema). México.

Velázquez, A. 2001. Proyecto ejecutivo de las bases para la reestructuración del sistema de áreas naturales protegidas del Distrito Federal. Informe Final. Licitación No. UDSG/030/2001. IG-UNAM. México.

Clima

María Engracia Hernández Cerda
Francisco Javier Villicaña Cruz
Enrique Azpra Romero

Introducción

El clima es un factor condicionante de la configuración del paisaje, actúa directa o indirectamente como un factor de selección natural y moldea en gran medida las distribuciones geográficas de plantas y animales, así como la distribución de la población humana y sus actividades (Fernández 1996). El territorio de México se caracteriza por presentar diferentes formas del relieve, en donde las regiones montañosas cubren una extensión importante. Sus cambios de altitud son muy notorios en distancias cortas e influyen en la existencia de tipos climáticos variados y en la transición entre ellos, es decir, las zonas altas y bajas.

En la parte central de México, se encuentra la Faja Volcánica Transmexicana, y es el área en donde se localiza la Ciudad de México, por tal razón en esta entidad se tienen climas semifríos en las partes de las sierras que la rodean, templados en las partes bajas, así como condiciones subhúmedas o semiáridas en el noreste (García 1999).

El objetivo de este apartado es hacer una breve caracterización de los principales tipos de climas en la ciudad, así como de algunos de sus elementos, como son la temperatura y la precipitación. Estos elementos son medidos en las estaciones climatológicas que integran la red establecida por las diferentes entidades gubernamentales que cubren el territorio nacional.

El estudio del clima en México con base en datos instrumentales se inicia en forma sistemática a partir de marzo de 1877, cuando se establece el Observatorio Meteorológico Central en la azotea del Palacio Nacional, lo que dio lugar a la más larga e ininterrumpida serie de datos del país, 134 años completos (SMN 2011). Este observatorio fue trasladado en 1913 al edificio donde se localiza y realiza actualmente sus labores el Servicio Meteorológico Nacional, en Tacubaya, Ciudad de México.

Condiciones de temperatura y precipitación

Debido a su latitud (19.5° N), en la Ciudad de México la insolación se distribuye casi uniformemente durante todo el año. La máxima insolación se presenta en la época seca y se debe esencialmente a la poca nubosidad, mientras que en el verano, por la inclinación del eje terrestre, se esperaría tener un valor mayor; sin embargo, éste se ve disminuido ya que corresponde a la época de lluvias y hay mayor presencia de nubes. Se llama duración de la insolación al número de horas de sol brillante registrada en el mismo punto. La duración de la insolación en un lugar y fecha determinados, en ausencia de nubes, es igual a la duración del día en la misma fecha, depende de la latitud y se calcula mediante fórmulas que suministra la astronomía (Barry y Chorley 1999). La figura 1 muestra la distribución anual de la insolación de dos

Hernández-Cerda, M.E., F.J. Villicaña-Cruz y E. Azpra-Romero. 2016. Clima. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 36-55

observatorios meteorológicos: el de Tacubaya y el de Ciudad Universitaria; se utilizaron los datos de estos dos sitios porque cuentan con los registros más largos y continuos de radiación solar a nivel nacional. Localizados en la región Parques y Jardines urbanos, además de ser los únicos observatorios de primer orden que existen en la Ciudad de México, en los periodos 1981-2000 y 1965-2010 respectivamente, los valores de insolación tuvieron una variación un poco mayor de 100 unidades; sin embargo, este hecho debe tomarse con cuidado a causa de la diferente longitud de periodo de años analizados. A lo largo del año, Tacubaya recibe una mayor insolación que Ciudad Universitaria, debido a que ésta se encuentra en la zona de la ciudad donde la circulación del aire propicia la formación de nubes en las laderas de la sierra del Ajusco, que en su momento interfieren en el paso de los rayos solares.

La diferencia máxima en la duración del día y la noche a lo largo del año es solamente de dos horas 20 minutos, lo que trae como consecuencia que la variación anual de las temperaturas no sea muy grande. En efecto, los lugares situados a una altitud menor de 2 400 o de 2 500 msnm —por ejemplo: las estaciones meteorológicas San Juan Aragón (2 240 m) y Tláhuac (2 259 m)— presentan poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales (entre 5 y 7 °C), mientras que los de altitud mayor, como es el caso de las estaciones meteorológicas Desierto de los Leones (3 220 m) y Ajusco (2 837 m) son isotermales, es decir presentan una diferencia menor de 5 °C entre el mes más frío y el más caliente (García 1964).

Los resultados obtenidos del análisis de la temperatura y precipitación pluvial de las dos estaciones climatológicas mencionadas muestran que la curva anual de la temperatura presenta, en general, dos valores máximos y dos mínimos. Los máximos corresponden al paso del sol por el cenit, pero debido al retraso del calentamiento con respecto a la insolación, el primer máximo se presenta en mayo (18.3 °C) y el segundo en agosto (16.8 °C), correspondiendo

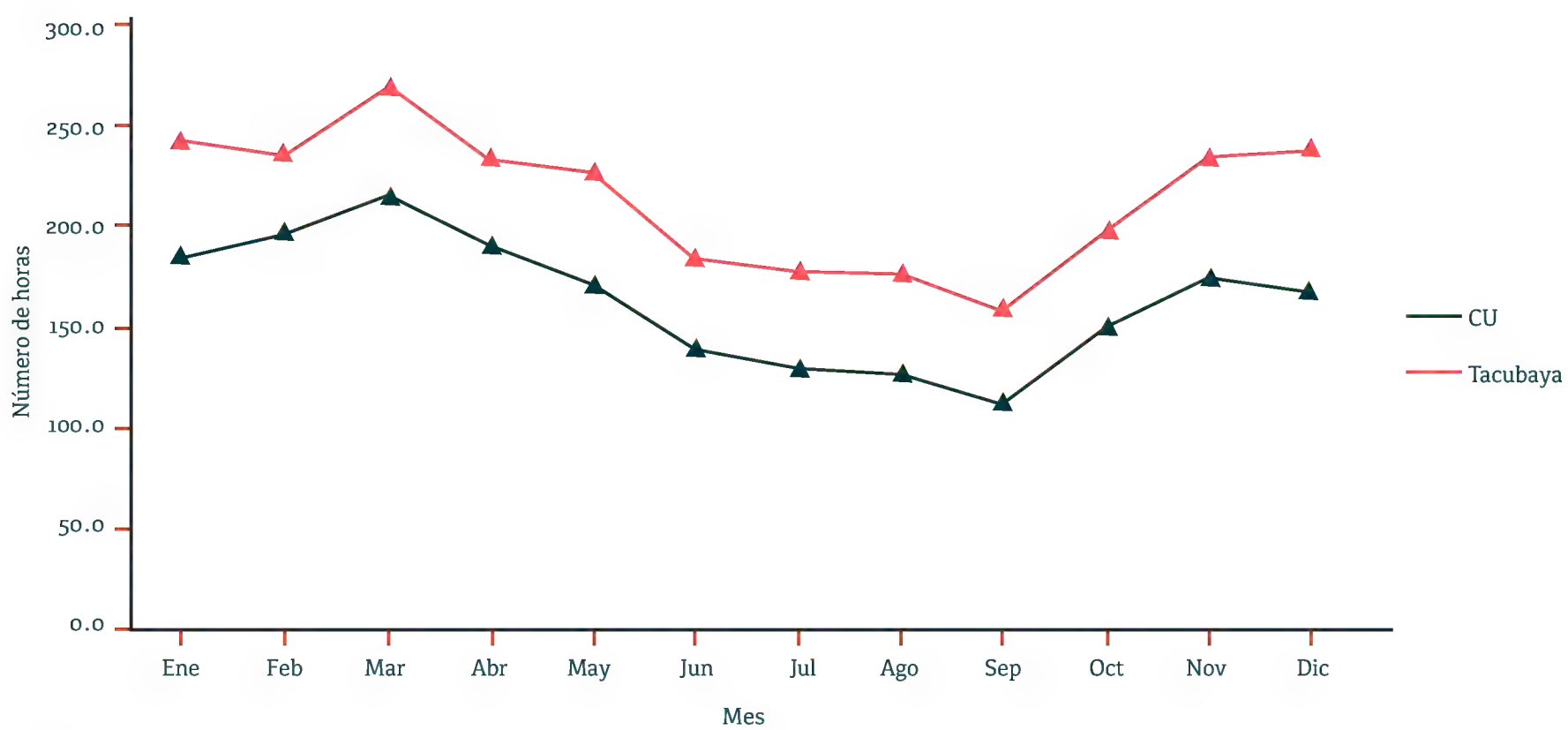


Figura 1. Gráficas de insolación de los observatorios de Ciudad Universitaria y de Tacubaya. Valores mensuales acumulados en horas. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del SMN y del Observatorio Meteorológico de la UNAM.

éste con el mes más lluvioso. Debido a la presencia de la temporada lluviosa, el segundo máximo se atenúa mucho o se eclipsa, como se observa en las gráficas combinadas de valores medios mensuales de temperatura y precipitación, conocidos como diagramas ombrotérmicos (García 1983) de los observatorios de Tacubaya y de Ciudad Universitaria (figuras 2 y 3). El mínimo principal es en enero (12.4 °C).

La distribución de las lluvias presenta una mayor precipitación pluvial hacia el suroeste conforme aumenta la altitud (García 1999). Sin embargo, en la parte baja de la montaña (piedemonte) se reciben entre 1 000 y 1 200 mm de agua anualmente; mientras que valores superiores a 1 500 mm se registran sobre las altitudes medias de las laderas orientales de la sierra de Las Cruces, es decir, el máximo de precipitación no coincide con el máximo de altitud. Esto se debe a que las masas de aire húmedo provenientes del noreste se elevan al encontrase con la sierra de Las Cruces, lo que resulta en una disminución de la temperatura, así como de la capacidad para contener humedad (punto de saturación), por lo que ésta se condensa y precipita antes de alcanzar las altitudes máximas, constituyendo así el llamado efecto orográfico (Reyes-Coca 2001).

Con base en los datos de precipitación de las estaciones analizadas (figuras 2 y 3), se obtuvo que la mayor cantidad de lluvia se recibe en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, con 120 mm o más, y con precipitaciones menores de 30 mm por mes en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Los meses restantes presentan valores de precipitación entre los valores antes mencionados. Asimismo, la principal característica de la lluvia de invierno (enero, febrero y marzo) no supera 5% de la lluvia anual. La llegada de aire frío en el primer mes del año produce que éste tenga la temperatura media más baja del año.

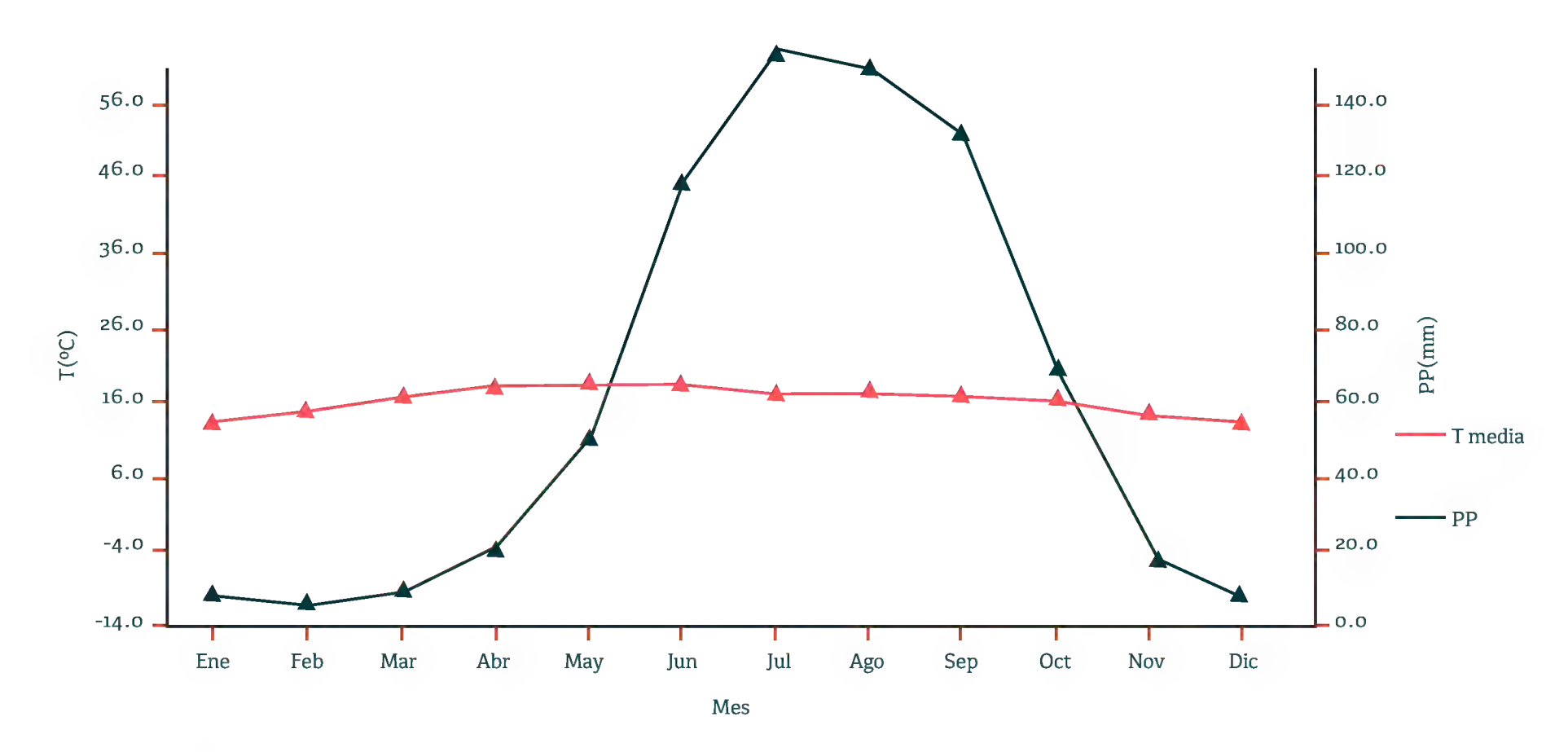


Figura 2. Diagrama ombrotérmico del Observatorio de Tacubaya (1877-2010). Precipitación en milímetros y temperatura en grados Celsius. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del SMN 2011.

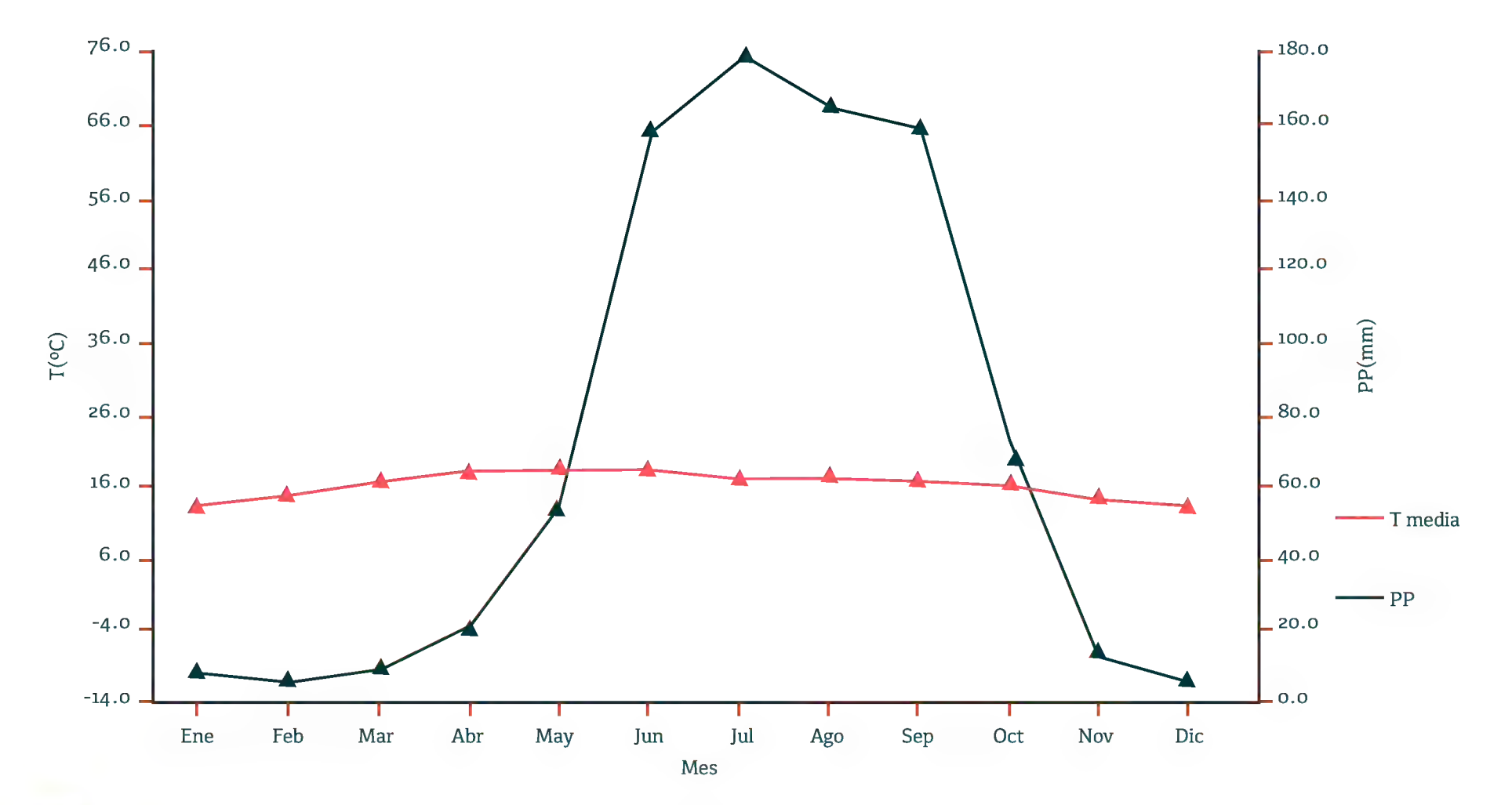


Figura 3. Diagrama ombrotérmico del Observatorio de Ciudad Universitaria (1963-2010). Ya se presenta en los ejes. Elaboración propia con datos obtenidos del Observatorio Meteorológico de la UNAM.

Sistemas de tiempo meteorológico (temperie)

El movimiento de las grandes zonas de alta presión interactúa con zonas de baja presión sobre toda la superficie terrestre, lo que produce que el calor y la humedad sean transportados de las regiones cálidas y húmedas a las frías y secas. Estas zonas de presión son conocidas como anticiclones (alta presión) y ciclones (baja presión), su interacción da lugar a los frentes (fríos o calientes). Por regla general los movimientos verticales del aire son ascendentes en los ciclones, lo cual da lugar a zonas de nubosidad y lluvia; mientras que los anticiclones se caracterizan por movimientos verticales descendentes (subsidentes) y cielos despejados. Sin embargo, este comportamiento siempre es afectado por las condiciones locales de cada lugar de la tierra (Azpra *et al.* 2001).

El país es afectado por fenómenos de latitudes medias durante el invierno (por ejemplo, los vientos del oeste, ciclones y anticiclones extra tropicales) y por fenómenos tropicales durante el verano (por ejemplo, los vientos del este o alisios, en los que se forman las ondas del este y los huracanes), con periodos de transición para pasar de una estación a otra (Azpra *et al.* 2001). La lluvia se presenta principalmente de dos formas: orográfica, que es cuando el aire choca con las montañas, es obligado a ascender, su temperatura baja lo suficiente, se forma la nube y, eventualmente, la lluvia (si el aporte de humedad es suficiente); y la lluvia convectiva, originada por el calentamiento del suelo y el movimiento vertical ascendente que produce nubes de gran desarrollo vertical, mismas que son las causantes de las precipitaciones del tipo aguacero (Mosiño y García 1974).

Las perturbaciones tropicales u ondas del este introducen humedad del golfo de México y mar Caribe a toda la mitad sur del país y algunas veces alcanzan más al norte de la ciudad, produciendo cielos encapotados (nublados) y lluvias. Los ciclones tropicales que se acercan a ambas costas desde finales de la primavera hasta mediados del otoño afectan la circulación atmosférica. Los ciclones del golfo de México pueden ocasionar

días despejados; mientras que los del Pacífico (y cercanos a la costa), días nublados y lluviosos (Azpra *et al.* 2001).

En el invierno, el tiempo está dominado por las invasiones de aire frío provenientes del norte. La humedad arrastrada por el aire en su paso por el golfo de México produce nubosidad y lluvias en las partes altas de la Sierra Madre Oriental. El aire que no supera la barrera montañosa se ve obligado a moverse hacia el sur, provocando que la dirección del viento provenga del norte, lo que da nombre a la situación meteorológica conocida popularmente como "norte". Las condiciones de "norte" en la ciudad pueden ser desde cielos despejados hasta lluvias continuas (pero con frío en cualquier condición) en función de la magnitud de la alta presión. Cuando esta entrada de aire frío por la superficie coincide con una corriente fuerte de vientos procedente del Pacífico en forma tubular (corriente en chorro), se generan las condiciones apropiadas para la caída de nieve en las partes altas de la cuenca de México (Mosiño y García 1974).

Condiciones climáticas

García y colaboradores (1970, 1999) elaboraron cartas de climas con base en su Sistema de Clasificación Climática de Köppen Modificado, que muestran en una forma amplia y completa las condiciones de temperatura (figura 4), lluvia (figura 5) y clima. En una escala 1:500 000 (García 1970) se utilizaron 41 estaciones, de las cuales seis fueron pluviométricas; es decir sólo tenían información de lluvia. Los periodos con información de medias mensuales de temperatura y precipitación están entre cinco y 40 años, mientras que 73% tiene menos de 20 años de información.

En 1999 García actualizó la carta de climas, a escala 1:1 000 000, la cual contó con 64 estaciones y muestra la gran variación de la precipitación y temperatura en la cuenca donde se asienta la ciudad. En esta carta se puede apreciar que los climas varían en cuanto a la humedad, de semiáridos (en Parques y Jardines Urbanos y vertiente norte de la sierra de Guadalupe) a subhúmedos (en el resto del territorio de la ciudad), y en cuanto a sus condiciones térmicas, de templados (en la mayor parte de la ciudad) a semifríos (en Bosques y Cañadas). En la figura 6, se puede observar que las zonas con clima semiárido (BS_1) se localizan en las partes bajas al noreste, y en general se nota un gradiente de humedad que aumenta con una dirección aproximada noreste-suroeste. Se presentan los tres subtipos subhúmedos de los climas templados: el menos húmedo (Cw_0) se localiza en las partes bajas no ocupadas por los climas semiáridos; el intermedio (Cw_1) se localiza sobre la parte baja de las sierras de Las Cruces y del Ajusco, y el más húmedo de los tres (Cw_2), sobre las laderas montañosas de altitud comprendida entre 2 400 y 2 800 msnm aproximadamente (delegaciones Álvaro Obregón y Cuajimalpa). El clima semifrío subhúmedo ($Cb'w_2$) se presenta en las laderas montañosas de altitud superior a los 2 800 msnm de estas sierras.

Sobre el estudio del clima de la Ciudad de México, también destacan los trabajos realizados por Jáuregui (1979, 1987, 1993, 2000), referentes al análisis de algunas variables climáticas, como la lluvia, la evaporación y la temperatura, así como el comportamiento de la isla de calor. Este autor explica la presencia de los climas semiáridos en el noreste de la ciudad por la subsidencia del aire durante el día en el centro de la cuenca de México, que origina el desplazamiento del aire superficial en dirección cuesta arriba de las montañas, o lo que se conoce como vientos de valle, lo que favorece la formación de nubes en la parte suroeste y el efecto contrario en la parte noreste. En los años de lluvias escasas, aumenta el número de tolvaneras, debido a que, durante la estación lluviosa, las nubes convectivas se ven parcialmente frenadas en su desarrollo vertical, ocasionando una menor precipitación y acentuando la aridez de esta parte de la ciudad.

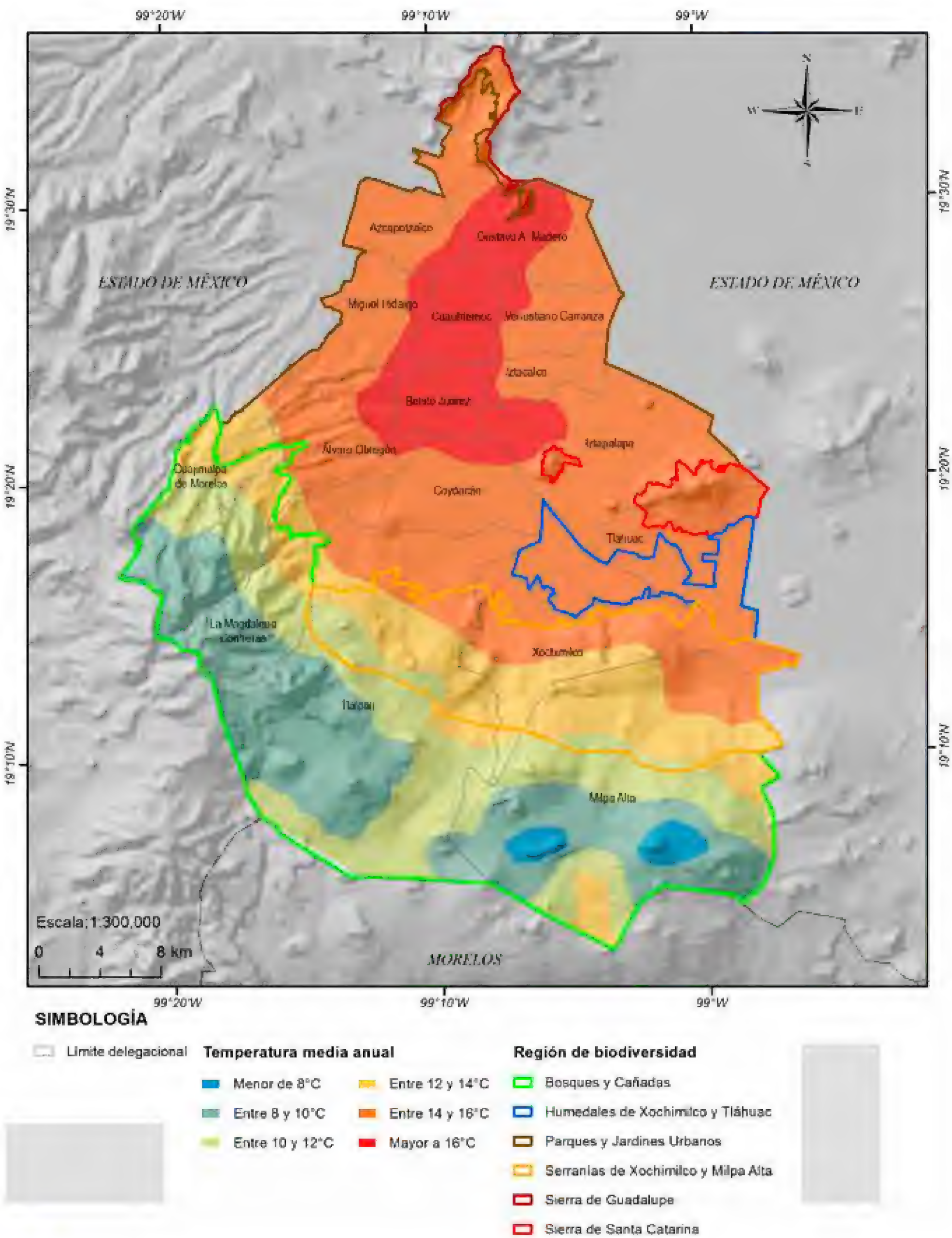


Figura 4. Líneas de igual temperatura media anual (isotermas). Fuente: elaboración propia modificado de García *et al* 1970.

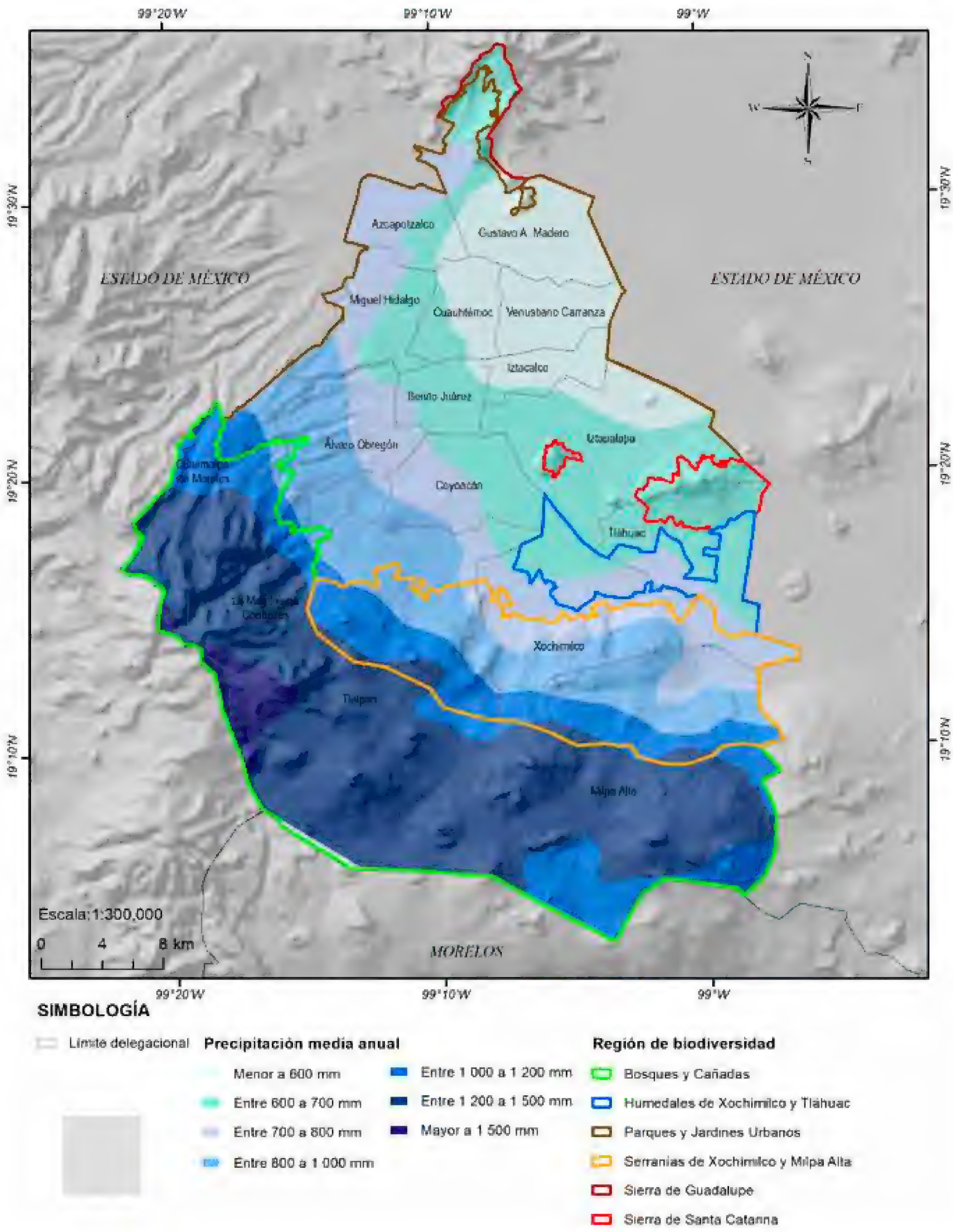


Figura 5. Líneas de igual precipitación anual (isoyetas). Fuente: elaboración propia modificado de García *et al.* 1970.

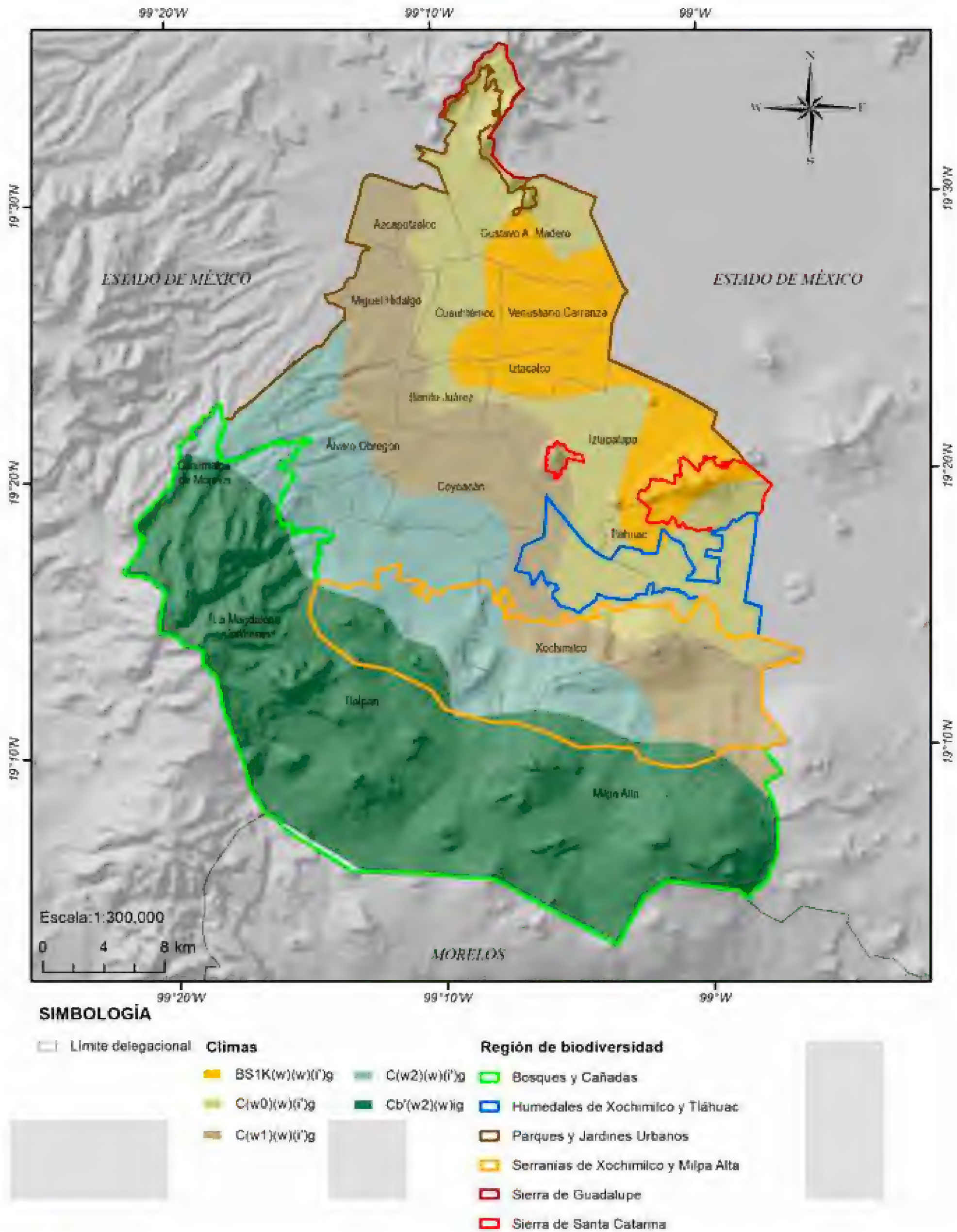


Figura 6. Climas. Fuente: elaboración propia modificado de García *et al.* 1970.

Red actual de estaciones meteorológicas

La única fuente de información directa con la que cuenta la climatología es la observación de los diferentes parámetros climatológicos. La cantidad y la calidad de los datos disponibles condicionan la representatividad de los estudios climáticos.

La principal fuente de información han sido, tradicionalmente, las redes meteorológicas nacionales, formadas por un número determinado de estaciones y observatorios distribuidos en los diferentes estados del territorio nacional. A partir de los datos suministrados por estas redes se pueden definir los mecanismos que gobiernan el clima de una zona y evaluar la incidencia de los factores astronómicos y geográficos (Fernández 1996).

La unidad de información básica es la estación meteorológica, que se define como una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, por ello es importante seleccionar la ubicación y las condiciones de medida a fin de que las observaciones sean representativas de la climatología regional (Fernández 1996).

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM 1990) dos o más estaciones del mismo tipo, cuando son administradas conjuntamente, conforman una red, así se puede hacer referencia a una red de estaciones que mide tres parámetros, como temperatura, lluvia y evaporación, que son las más frecuentes en el país.

La información de la red de estaciones climatológicas convencionales administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se encuentra concentrada en una base de datos conocida como Clicom (Climatología Computarizada), que consta de observaciones diarias de temperaturas máxima, mínima y una lectura de temperatura a las 8 h, la precipitación acumulada en 24 h, así como heladas, tormentas eléctricas, granizo, despejados, nublados y medio nublados.

En marzo de 2011, la base de Clicom reportó un total de 60 estaciones convencionales en la Ciudad de México, de las cuales 16 (27%) siguen operando con información de temperatura y precipitación, que en promedio tienen 47 años de registros.

La Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, a través de la Subdirección de Macromedición y Control de Redes (SMCR 2011) estableció su propia red de 78 estaciones pluviométricas convencionales, que se caracteriza por tener muy buena continuidad en la información. Del total, 62 estaciones (79%) se localizan en territorio de la capital; de éstas, 43 tienen datos desde 1988 a la fecha, es decir, cuentan con 27 años de información, y el resto (19) únicamente tiene trece de registro de información. Por cada delegación existe una o más estaciones, entre las que se pueden mencionar: Tanque Chalmita en Gustavo A. Madero, Radio Comunicación en Benito Juárez y Xotepingo en Coyoacán, entre otras.

En los últimos 15 años, se ha incrementado el número de estaciones climatológicas automatizadas que miden lluvia, temperatura y velocidad del viento. El Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU) apoya con un total de 14 estaciones de este tipo (nueve en Preparatorias y cinco en Colegios de Ciencias y Humanidades), y sólo una se localiza fuera de la ciudad (Colegio de Ciencias y Humanidades, unidad Naucalpan). Esta red representa un buen número de estaciones que, sin embargo, cuentan con un periodo corto de observación, de seis a 13 años, y la toma de datos es bastante irregular, salvo en dos preparatorias donde la continuidad de los datos es mayor.

Otras estaciones automatizadas que efectúan mediciones son las del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (REDMET), que incluye en total 20 equipos que toman datos de temperatura, viento, humedad relativa, radiación solar y presión barométrica; de los cuales 55% está en la ciudad, por ejemplo en Merced, Pedregal, Plateros y Cerro de la

Estrella. Seis estaciones comenzaron a funcionar en 1995 y tres en el año 2000, pero tienen datos incompletos. Una tiene sólo un año con datos y otra ni un año completo, mientras que dos cuentan con 16 años de información y el resto entre ocho y 14 años (PEMBU 2011).

Si bien el número de estaciones climatológicas convencionales ha disminuido considerablemente, han aumentado las estaciones automatizadas; sin embargo, cubren de forma deficiente las necesidades de los estudios climatológicos, ya sea porque no miden las variables que se requieren o porque no cumplen con un periodo suficientemente largo de información (más de 50 años). Por otro lado, las nuevas redes de estaciones están enfocadas a otros fines y su distribución no posee el diseño adecuado para representar las diferencias térmicas y pluviométricas de esta entidad.

Distribución actual de la temperatura y precipitación

Los datos procedentes de las redes de observación, mencionadas anteriormente, fueron usados para la elaboración de cartas de temperatura y precipitación (actualizadas hasta 2010), con el fin de ilustrar la distribución espacio temporal de estos dos elementos. En estas cartas de temperatura y precipitación se usaron 129 estaciones distribuidas de la siguiente forma: 41 de Clicom, 14 de PEMBU y 74 de REDMET. En las cartas de temperatura se usaron 24 estaciones de Clicom, 17 de la Secretaría del Medio Ambiente y 14 de PEMBU.

Se calcularon las estadísticas mensuales correspondientes a la media aritmética, valores máximos, mínimos y oscilación térmica, con lo que se procedió a elaborar gráficas y mapas por medio de un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 9). El periodo de ellas varía desde seis a 35 años de información (no necesariamente continua), e inclusive en la estación Tacubaya y Ciudad Universitaria con 134 años y 48 años, respectivamente.

Se seleccionaron los meses de enero (figura 7) y mayo (figura 8), que corresponden a los meses más frío y caliente del año, respectivamente, para mostrar la distribución de la temperatura media del periodo. El comportamiento sigue, aproximadamente, el mismo patrón que la orografía. En ambos meses los valores más altos se localizan en la parte centro norte y los más bajos hacia el sur y suroeste, la única variación es en su magnitud. En mayo las temperaturas están entre 12 y 22 °C, mientras que en enero oscilan entre 8 y 16 °C. La zona de mayor temperatura corresponde a lo que se ha reportado en la literatura como isla de calor, mientras que en las zonas altas del poniente, se encuentra la temperatura más baja, debido principalmente a que la altitud aumenta considerablemente con respecto a la zona antes citada. La isla de calor es el efecto que causa el diferente calentamiento de la ciudad con respecto a sus alrededores; consiste en el diferente calentamiento entre la zona urbana y la rural; la primera se calienta más rápidamente, debido a que el cemento, hormigón y asfalto se calientan más que las zonas donde la superficie del terreno no ha sido modificada, como es el caso de la zona rural que permanece relativamente fresca (Jáuregui 1987, 1993, 2007).

Es de notarse que en la carta de temperatura media anual (figura 4), se presentan dos valores mínimos en la parte sur que no se observan en los mapas de valores mensuales, lo cual corresponde a la falta de datos.

En las figuras 9 y 10 se presentan los promedios de las temperaturas máximas y mínimas de los observatorios de Tacubaya (134 años) y de Ciudad Universitaria (48 años), respectivamente. En ambas gráficas, las curvas correspondientes a las temperaturas máximas promedio mensuales muestran un valor pico durante los meses de primavera, mientras que en las curvas mínimas, el valor máximo se presenta durante los meses de lluvia.

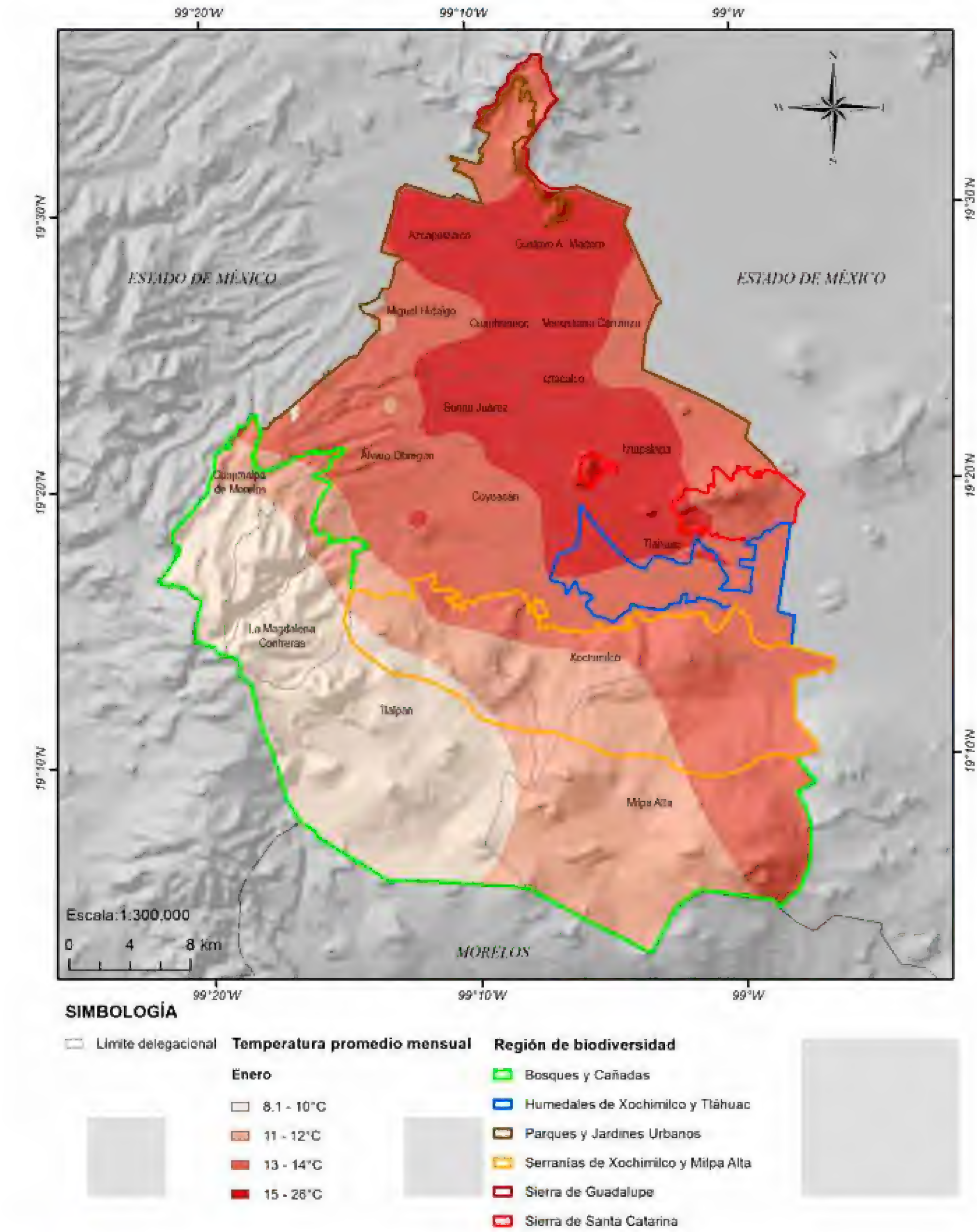


Figura 7. Líneas de igual temperatura media mensual (isotermas) de enero. Fuente: elaboración propia.

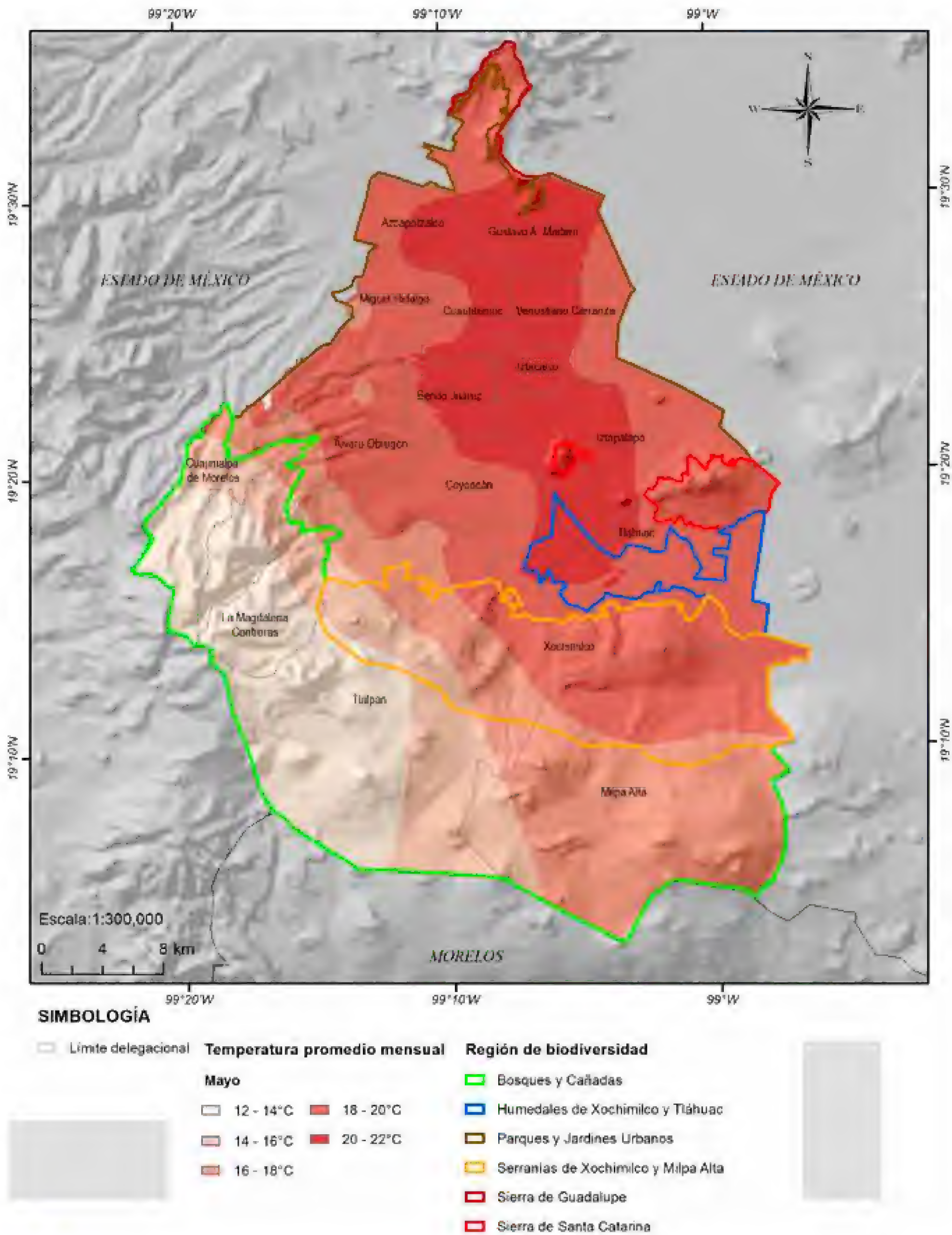


Figura 8. Líneas de igual temperatura media mensual (isotermas) de mayo. Fuente: elaboración propia.

La oscilación térmica se refiere a la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima registradas en un día. Se calculan diferentes valores de esta oscilación: el promedio de los máximos de cada mes (oscilación máxima promedio) y el máximo absoluto del periodo (oscilación máxima extrema); se procede de igual manera con los valores mínimos de la oscilación (mínima promedio y oscilación mínima extrema). Las figuras 11 y 12 muestran el cálculo para los observatorios de Tacubaya y de Ciudad Universitaria; de ellas se puede decir que la oscilación máxima promedio (20 y 24 °C respectivamente) se presentan en marzo (temporada seca), mientras que los valores

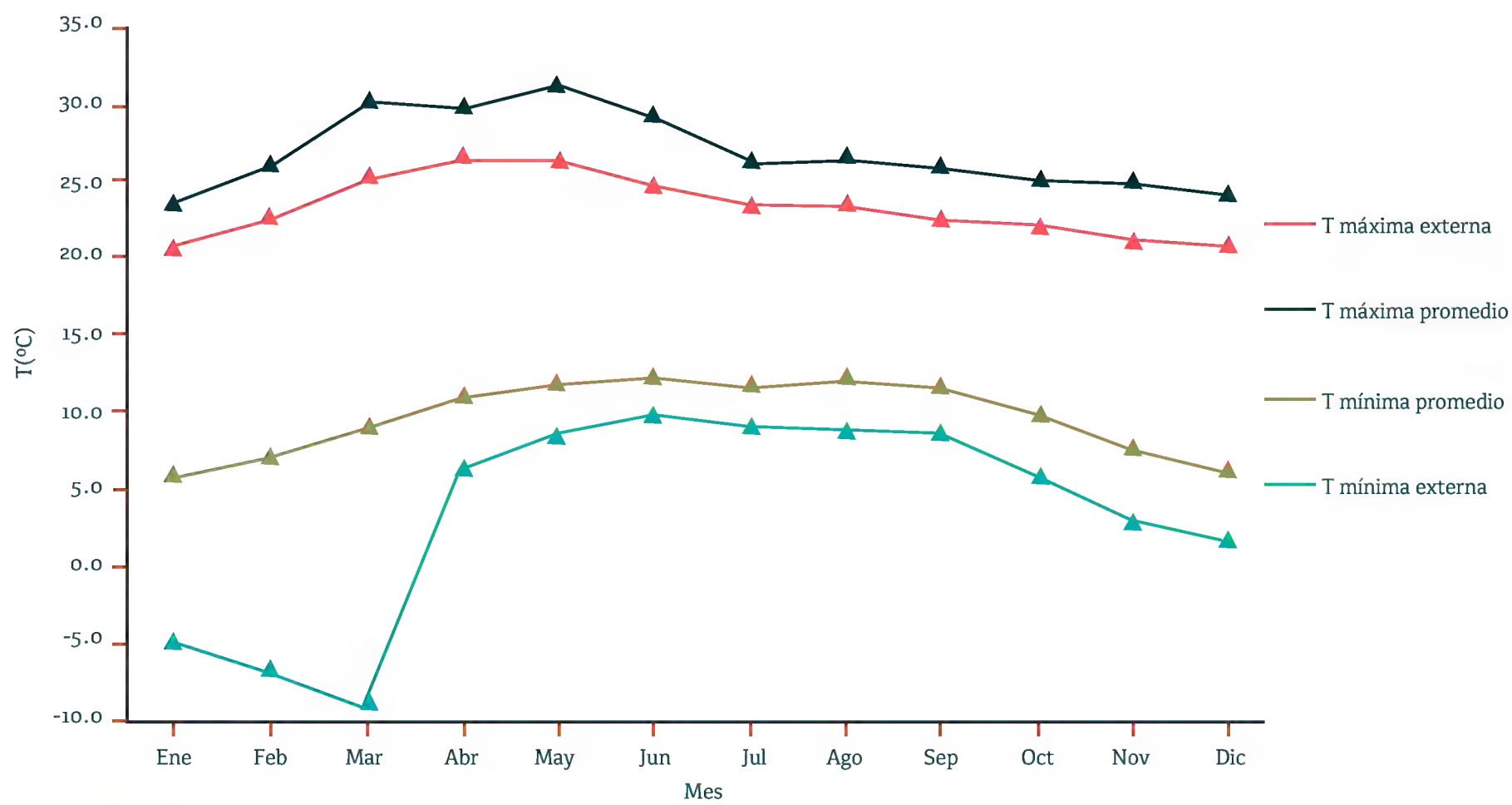


Figura 9. Temperaturas máximas y mínimas del Observatorio de Tacubaya. Fuente: elaboración propia.

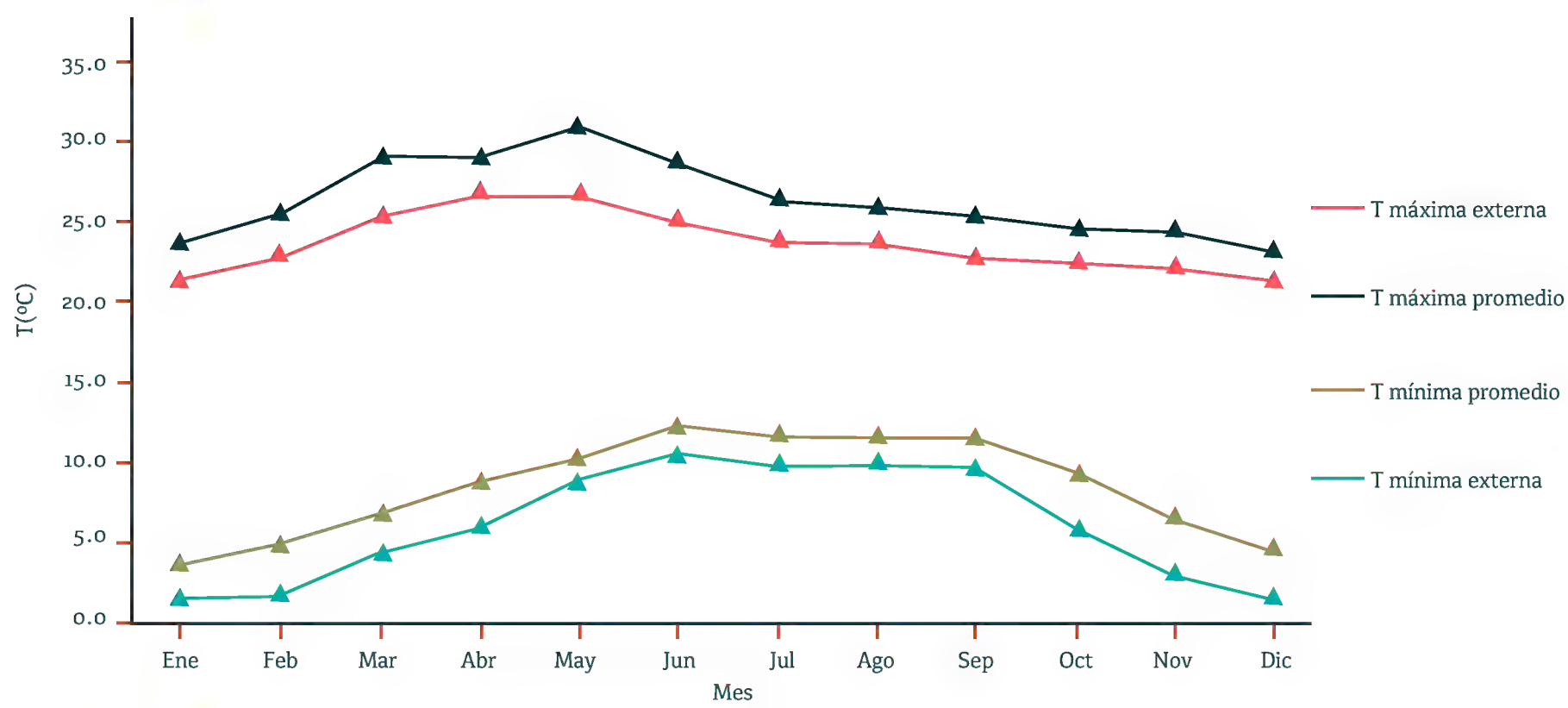


Figura10. Temperaturas máximas y mínimas del Observatorio de Ciudad Universitaria. Fuente: elaboración propia.

mínimos se encuentran en la temporada de lluvias (15 y 17.5 °C respectivamente). El comportamiento de los valores extremos de esta oscilación, aunque parece similar, presenta mayor variación, lo cual está relacionado con eventos atmosféricos aislados. En cuanto al valor mínimo de la oscilación térmica, presenta una mayor uniformidad a lo largo del año en Tacubaya (entre 1 y 5 °C), a diferencia de Ciudad Universitaria, donde la oscilación varía entre 5 y 12 °C.

Los mapas para los meses de febrero y agosto (figuras 13 y 14), corresponden a la máxima y mínima oscilación térmica mensual. En febrero existen valores altos, casi sobre la misma zona donde existe la isla de calor, mostrando otras

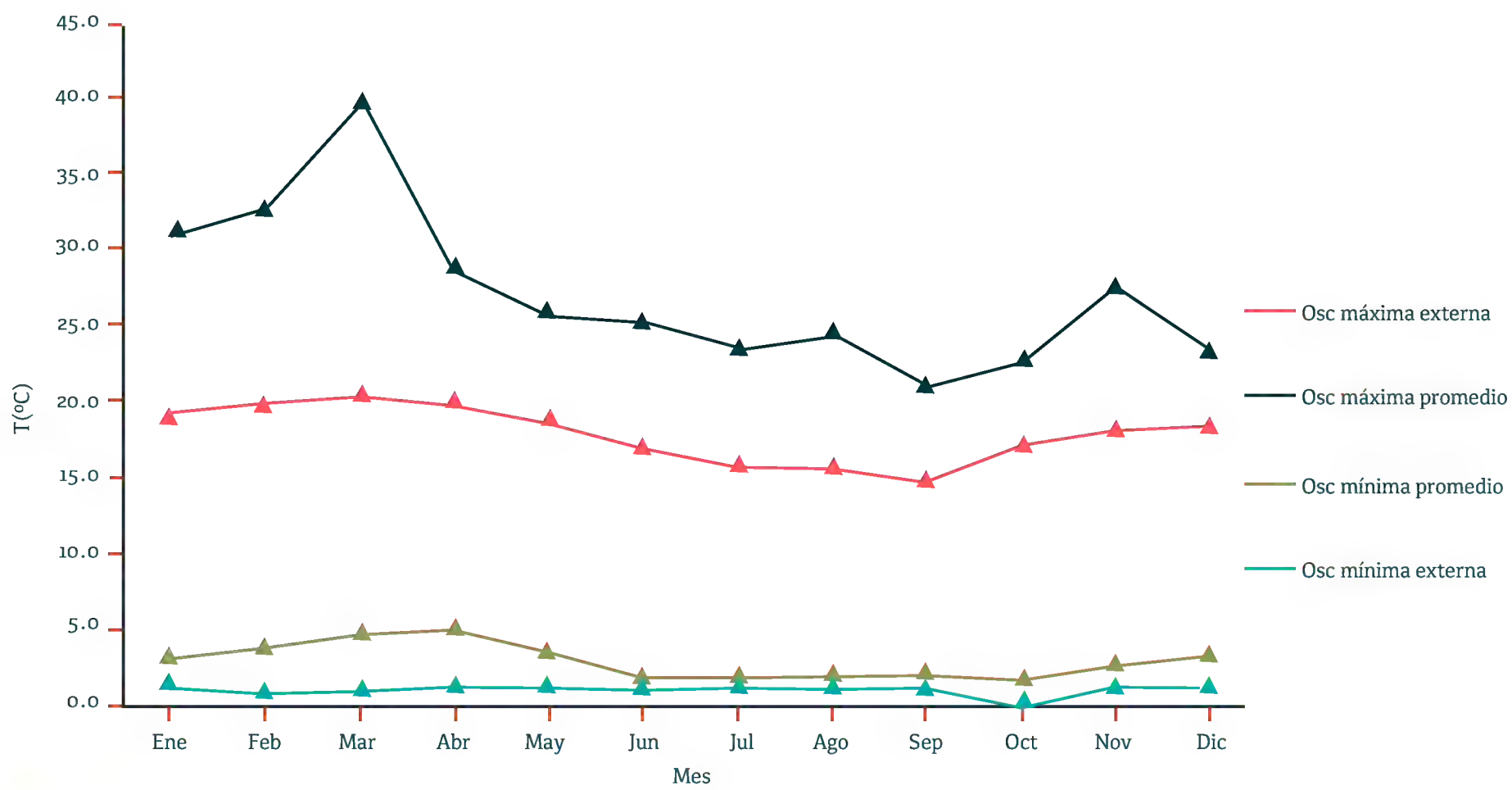


Figura 11. Oscilaciones térmicas (Osc) del Observatorio de Tacubaya. Fuente: elaboración propia.

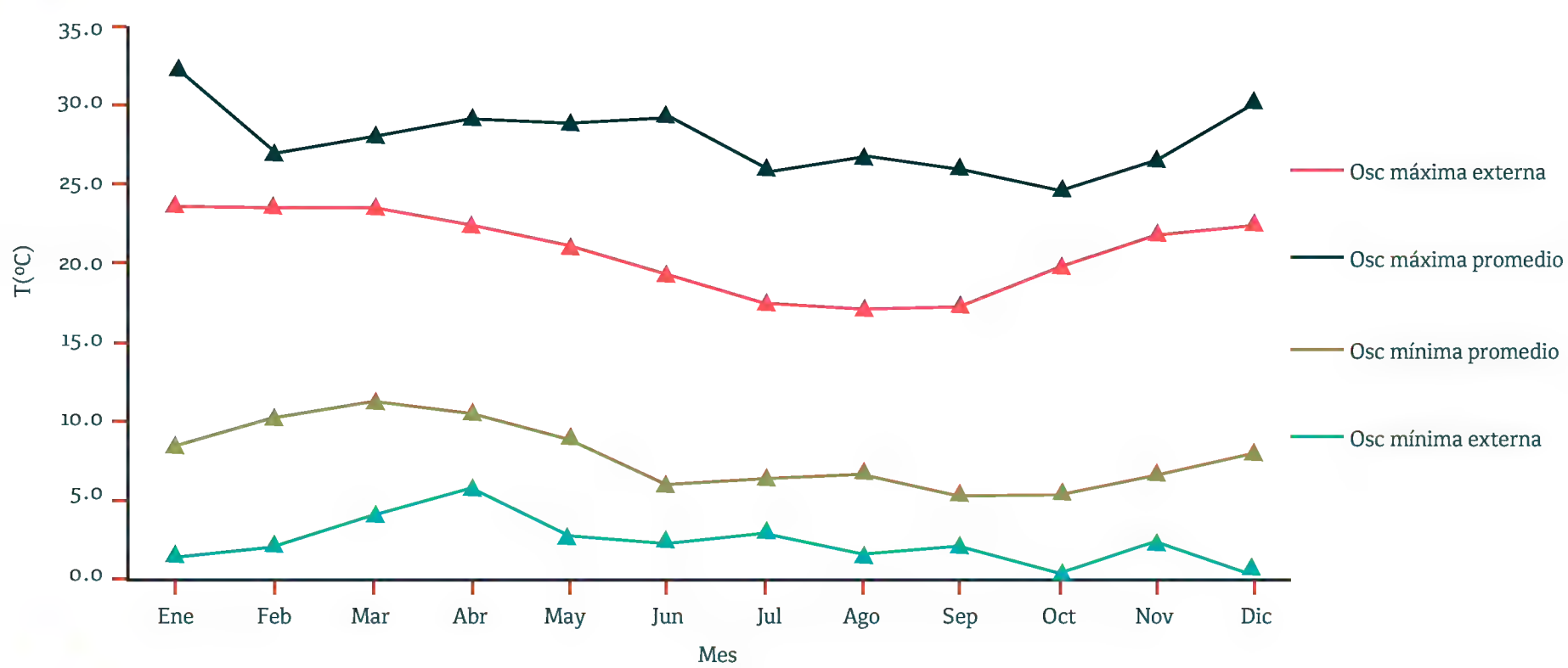


Figura 12. Oscilaciones térmicas (Osc) del Observatorio de Tacubaya. Fuente: elaboración propia.

zonas de elevado vaivén tanto al oriente como al poniente; de manera similar, sobre la zona de mayor altitud (donde la temperatura media tiene sus valores más bajos) la oscilación térmica también es menor. Es necesario resaltar que en la parte norte de la isla de calor en ambos meses se tiene el valor mínimo de oscilación. Con pequeñas diferencias en la extensión y en la magnitud de la oscilación térmica, el mes de agosto presenta el mismo comportamiento; mientras que la oscilación en febrero va de 14 a 26 °C, en agosto va de 10 a 20 °C.

Los mapas de precipitación de febrero (figura 15) y septiembre (figura 16) muestran la distribución de la lluvia de los meses más seco y lluvioso, respectivamente. En el primero, los valores no superan la isoyeta de 16 mm en ningún punto de la entidad, mientras que para septiembre la menor precipitación, en un área muy reducida, corresponde al valor de 16 mm y los valores mayores se encuentran sobre las zonas altas y tienen valores por encima de 200 mm.

Conclusión

En la cuenca de México, el factor orográfico tiene una influencia dominante, ya que modifica la distribución de los elementos climáticos. Concentra la mayor cantidad de precipitación en la zona suroeste, coincidiendo con las faldas de las sierras del Ajusco y de Las Cruces, donde también, debido a esta elevación, se tienen las temperaturas más bajas. El noreste de la Ciudad de México presenta la menor precipitación de la cuenca coincidiendo con las zonas áridas, donde las sierras están más alejadas.

El establecimiento de la Ciudad de México ha influido notablemente en el comportamiento de la temperatura y ha ocasionado una zona de mayor temperatura conocida como isla de calor; sin embargo, todavía no es posible demostrar cómo es que dicha zona influye sobre la precipitación, ya sea por la discontinuidad de las observaciones o porque no se ha entendido claramente la relación entre ambos parámetros.

Un estudio más completo y complejo del clima, tanto de su variabilidad como de su cambio, necesita que los registros de las estaciones dentro de la ciudad posean continuidad y longitud de por lo menos 50 años, en el mayor número posible de estaciones, distribuidas con la mayor representatividad de la zona en que se encuentran. En la Ciudad de México, esta red de estaciones debería distribuirse tanto en la planicie como en las laderas y cimas de la montaña, para ser capaces de identificar las variaciones en condiciones climáticas causadas por la naturaleza o por la acción del ser humano y planear acciones que aminoren el impacto que la sociedad causa en su entorno.

La única fuente de información directa con la que cuenta la climatología es la observación de los diferentes elementos meteorológicos; la cantidad y la calidad de los datos disponibles condicionan la representatividad de los estudios climáticos. En el caso de esta sección se han buscado los datos más actuales disponibles, aunque se ha encontrado que su calidad, continuidad y cantidad de años de información no es la indicada para realizar un análisis completo de estos factores.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de los maestros en ciencias Gloria Alfaro Sánchez y Ernesto Alcántara Concepción, así como la del biólogo Fernando Catalán Zavaleta.

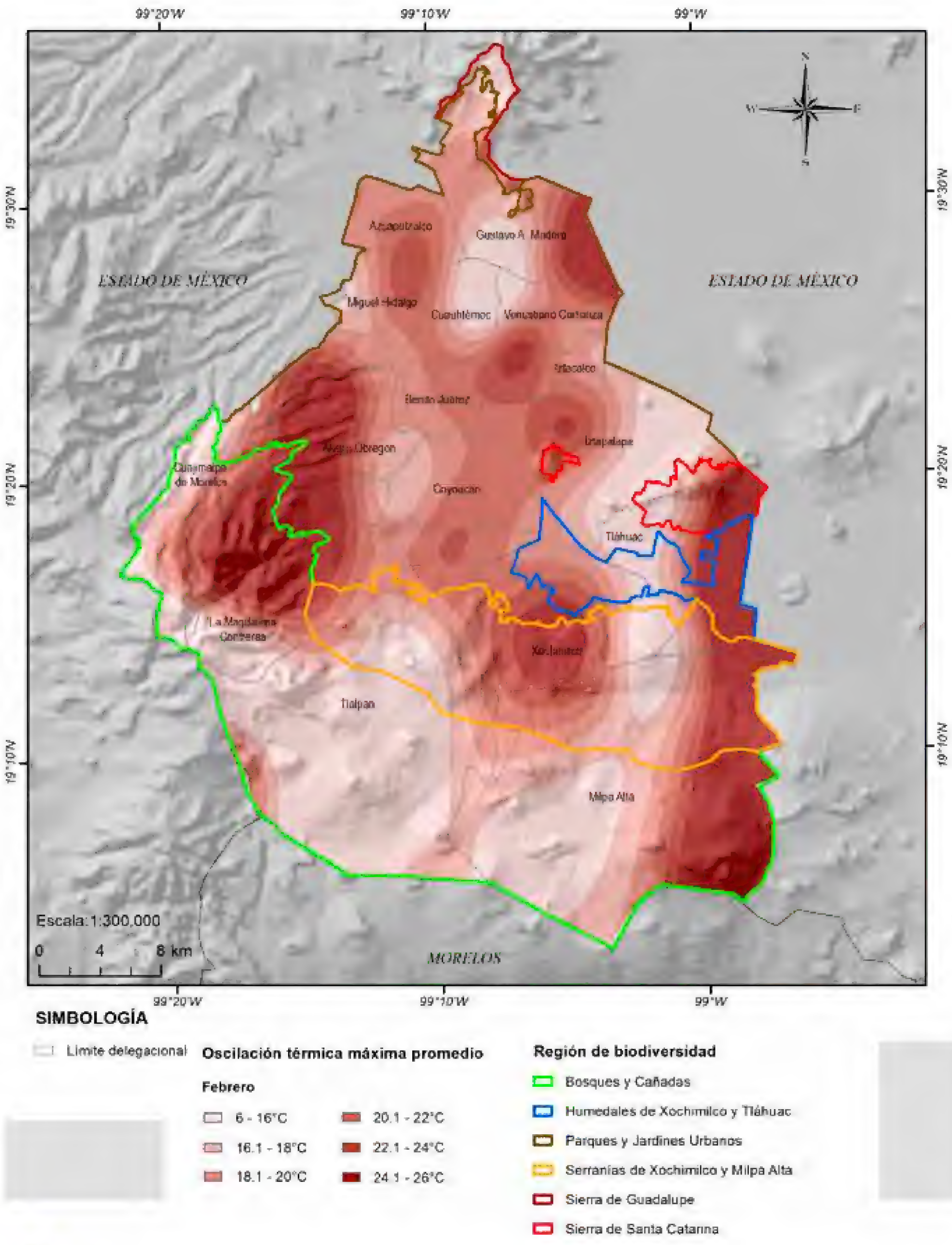


Figura 13. Distribución espacial de la oscilación máxima térmica de febrero. Fuente: elaboración propia.

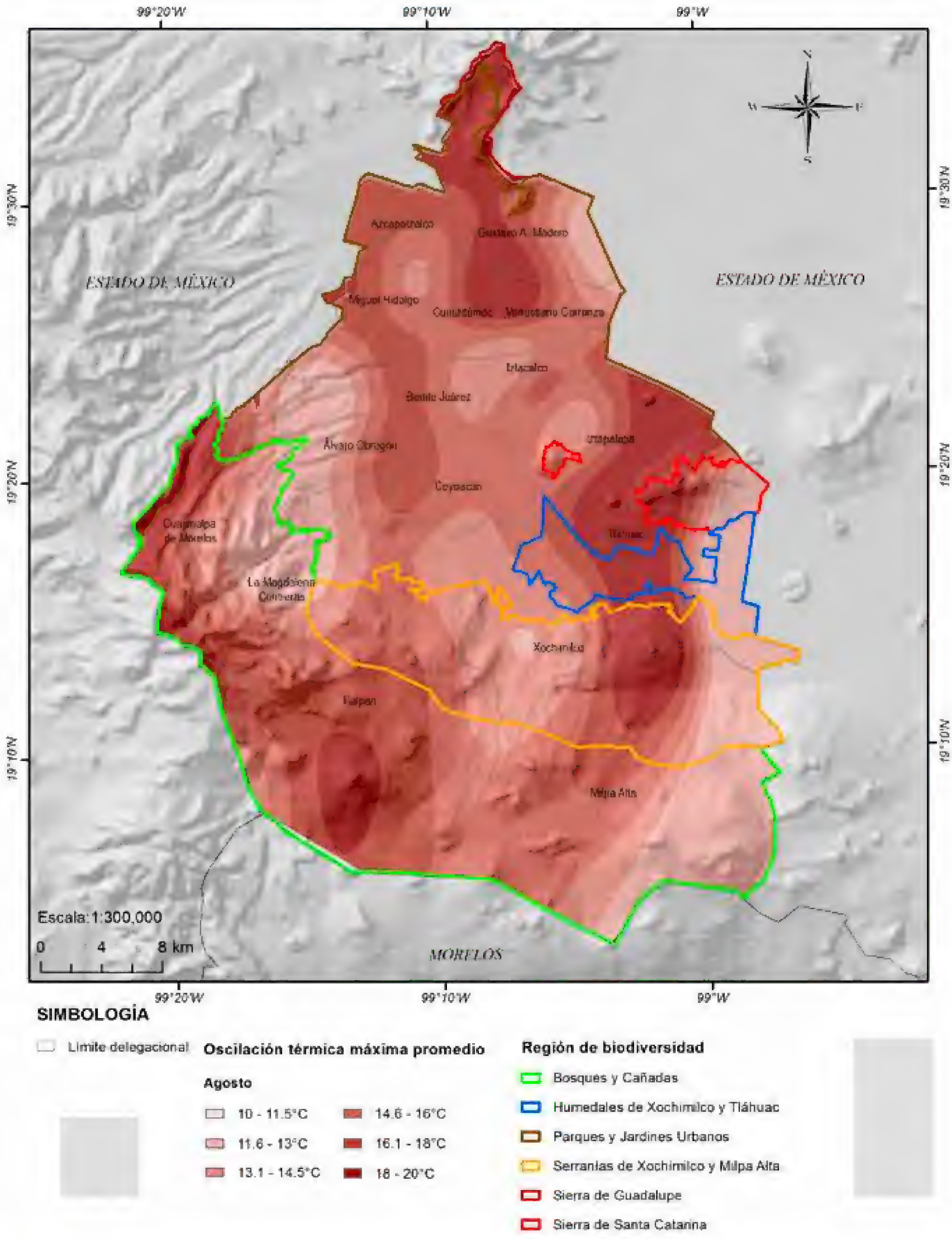
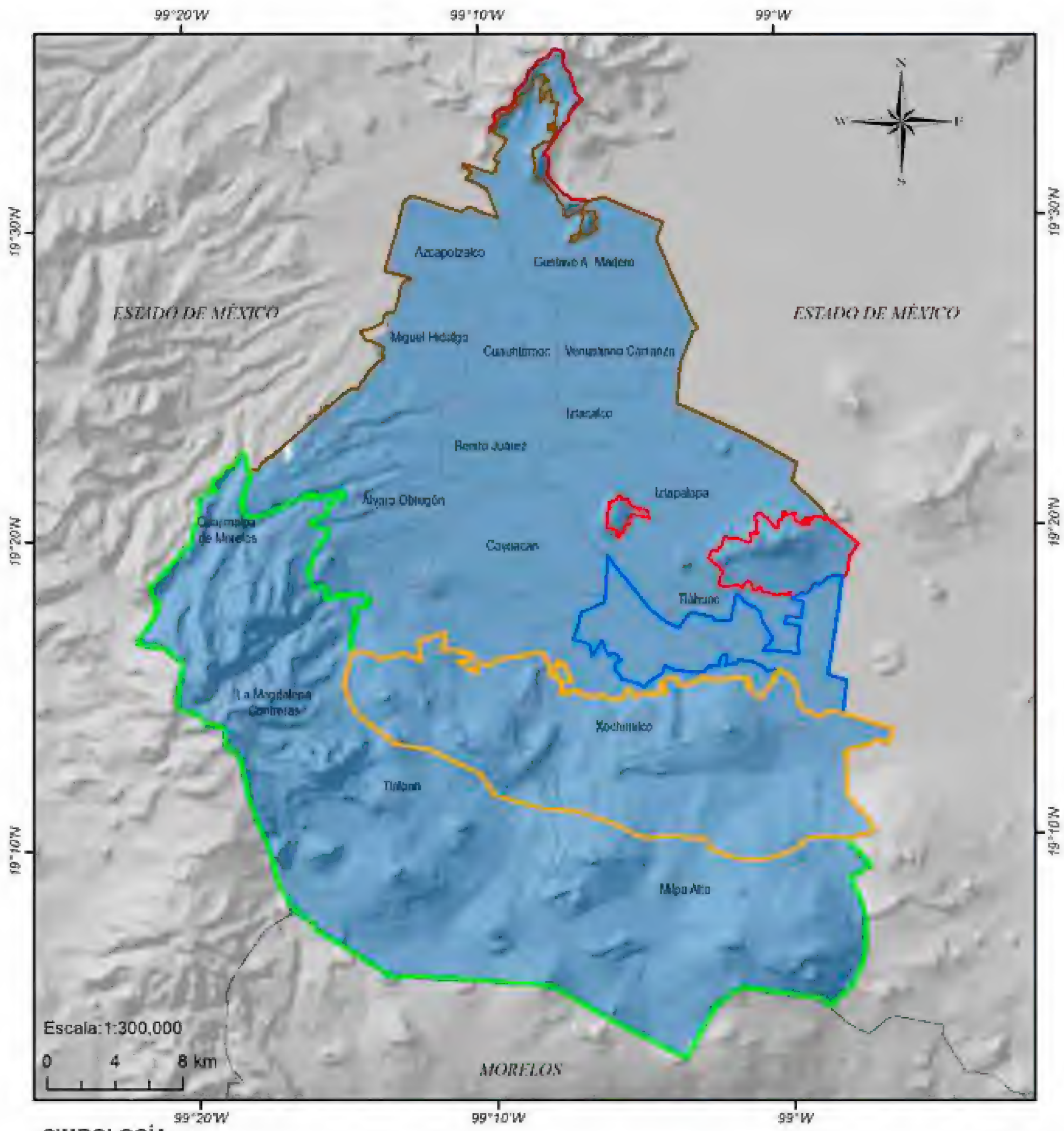


Figura 14. Distribución espacial de la oscilación mínima térmica de agosto. Fuente: elaboración propia.



SIMBOLOGÍA

Límite delegacional

Precipitación mensual promedio

Febrero

15 - 16 mm

Región de biodiversidad

- Bosques y Cañadas
- Humedales de Xochimilco y Tláhuac
- Parques y Jardines Urbanos
- Serranías de Xochimilco y Milpa Alta
- Sierra de Guadalupe
- Sierra de Santa Catarina

Figura 15. Líneas de igual precipitación mensual (isoyetas) de febrero. Fuente: elaboración propia.

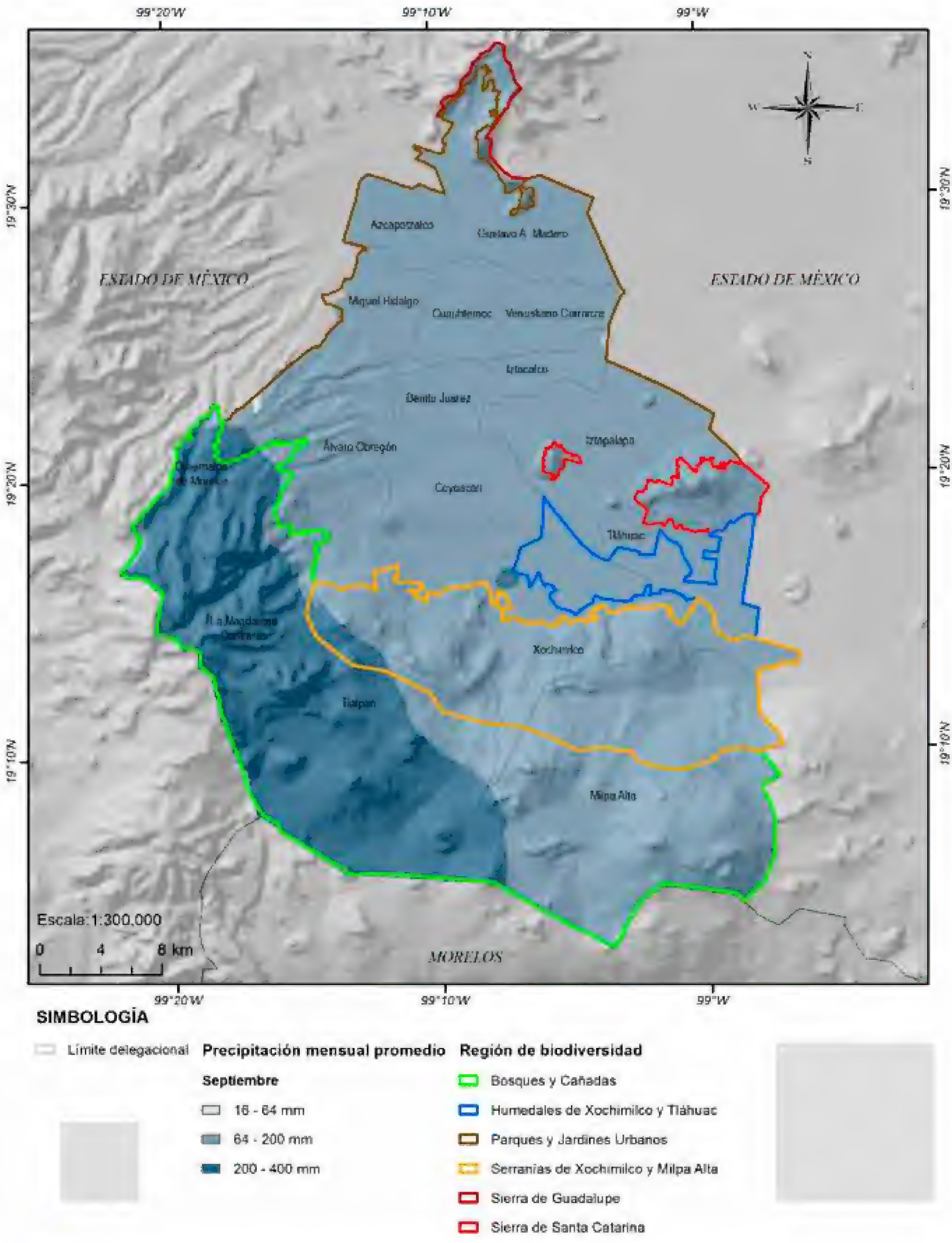


Figura 16. Líneas de igual precipitación mensual (isoyetas) de septiembre. Fuente: elaboración propia.

Referencias

Azpra, R.E., G. Carrasco, O. Delgado y F.J. Villicaña. 2001. *Los ciclones tropicales de México. Temas selectos de geografía de México*. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Barry, R.G. y R.J. Chorley. 1999. *Atmósfera, tiempo y clima*. Omega. España.

Fernández, G.F. 1996. *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*. Síntesis. España.

García, E. 1964. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Offset Larios. México.

García, E. 1999. *Carta de climas, temperatura media anual y de precipitación media anual, escala 1: 1, 000,000 según el Sistema de Köppen Modificado por García*. CONABIO. México.

García, E., T. Reyna, y R. Sierra. 1970. *Carta de Climas, escala 1: 500 000. Clasificación de climas según el Sistema de Köppen modificado por García*. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL)-Instituto de Geografía. (Hojas: México 14Q-V y Veracruz 14Q-VI).

García, E., M.E. Hernández y M.D. Cardoso. 1983. Las gráficas ombrotérmicas y los regímenes pluviométricos en la República Mexicana. Pp. 140-149. *Memoria del IX Congreso Nacional de Geografía, Guadalajara, Jalisco*. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México.

Jáuregui, O.E. 1979. Algunos aspectos de las fluctuaciones pluviométricas en México en los últimos cien años. *Boletín del Instituto de Geografía* 9:39-63.

——. 1987. Urban heat island development in Mexico. *Erdkunde* 41:48-51.

——. 1993. La isla de calor urbano de la Ciudad de México a fines del siglo XIX. *Investigaciones Geográficas* 26:31-39.

——. 2000. *El clima de la Ciudad de México*. Temas Selectos de Geografía de México (col.). ig-unam. México.

——. 2007. La variabilidad climática en los registros instrumentales de México. Pp. 279-289. En: *Cambio Climático: Una visión desde México*. J. Martínez y A. Fernández (comps). Instituto Nacional de Ecología (ine)/ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (semarnat).

Mosiño, A.P. y E. García. 1974. The climates of Mexico. Pp. 345-404. En: *Climates of North America. World Survey of Climatology*. Vol. 11. R. Bryson y K. Hare (ed.). Elsevier. Amsterdam, Holanda.

OMM. Organización Meteorológica Mundial. 1990. Guía de prácticas climatológicas. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. OMM. No. 100. Ginebra, Suiza.

PEMBU. Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario. 2011. Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM. En <*http://132.248.8.33*>, última consulta: septiembre 2011.

Reyes-Coca, S. 2001. *Introducción de la meteorología*. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, B.C. México.

SMN. Servicio Meteorológico Nacional. 2011. En <*http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=22*>, última consulta: noviembre 2011.

SMCR. Subdirección de Macromedición y Control de Redes. 2011. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. En: <*http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php*>, última consulta: noviembre 2011.

Unidades geológico-geomorfológicas

José Inocente Lugo Hubp

Introducción

La Ciudad de México se encuentra en una superficie contrastante por su relieve, mismo que incluye una altiplanicie y elevaciones volcánicas de diversa altura. El conocimiento de esta región fue impulsado desde la época de la Colonia, principalmente por la necesidad de enfrentar el peligro de las inundaciones que sufría la Ciudad de México. Henrich Martin, mejor conocido como Enrico Martínez, en el siglo XVII, fue el autor del primer estudio enfocado a evitar las inundaciones y dirigió los trabajos de construcción de un túnel que expulsaría las aguas del lago de Anáhuac hacia el río Tula.

En el Porfiriato hubo numerosos estudios geológicos de localidades de la cuenca de México, valiosos de acuerdo con el desarrollo que tenía entonces la geología, ciencia ya establecida hacia la mitad del siglo XIX por la obra de Charles Lyell. Un nuevo impulso se produjo a partir de la segunda mitad del siglo XX, motivado por el desarrollo de la ciencia de la Tierra en el mundo y por las aplicaciones que tenía en relación con el agua del subsuelo, el hundimiento de la ciudad y las inundaciones que continuaban ante la insuficiencia de las obras del desagüe. Los sismos de 1957 y 1985 exigieron un mejor conocimiento del subsuelo de la Ciudad de México, lo mismo somero que profundo, del orden de 2 000 m.

Las publicaciones geológicas sobre localidades (pequeñas o grandes) de la cuenca de México son abundantes desde el último cuarto del siglo XIX. De los numerosos estudios regionales, se citan como fundamentales los de Fries (1956,1960), Mooser (1957, 1975), Mooser y colaboradores (1996), Schlaepfer (1968), De Cserna y colaboradores (1987), Vázquez Sánchez y Jaimes Palomera (1989). Otros se enfocan a unidades geológicas determinadas, o a una porción menor de la Ciudad de México de importancia por su relación con el tema de la geomorfología: Martin Del Pozzo (1980, 1982, 1990), Delgado y colaboradores (1993, 1998), White y colaboradores (1990), Mora y colaboradores (1991), Lugo-Hubp y colaboradores (1994, 2001), Siebe (2000), Siebe y colaboradores (2004). El presente bosquejo sobre la geomorfología de la Ciudad de México (figuras 1 y 2), tiene un antecedente en una publicación del autor en 1984, misma que consiste en un mapa geomorfológico del sur de la cuenca de México, escala 1:200 000, en el cual se representan las formas del relieve, clasificadas por su origen.

Provincias

El término *provincia* se aplica a grandes unidades de la superficie terrestre que poseen características determinadas que las hacen diferentes de las contiguas; en el caso de las provincias fisiográficas o geomorfológicas el

Lugo-Hubp, J. 2016. Unidades geológico-geomorfológicas. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 56-64.

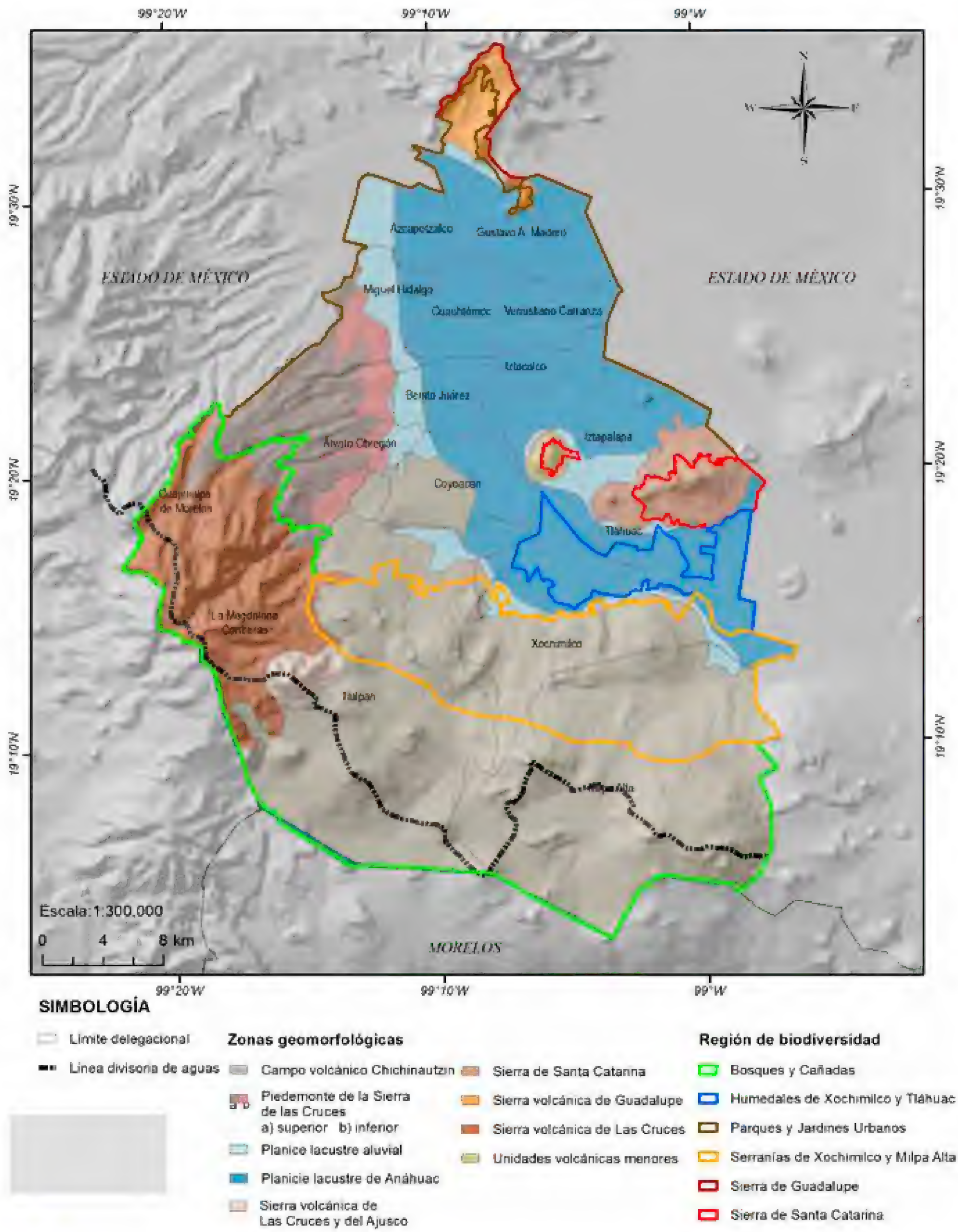


Figura 1. Zonas geomorfológicas y regiones de biodiversidad . Fuente: elaboración propia.

factor dominante es el relieve (montañas, lomeríos, planicies) (Fenneman 1914). La Faja Volcánica Transmexicana es una provincia que consiste en una serie de planicies escalonadas que se disponen desde Nayarit y Colima, hasta Veracruz, aproximadamente entre los paralelos 19° y 21° N. Sobre éstas se asientan elevaciones montañosas volcánicas de diversas dimensiones en cuanto a superficie y altura (Lugo-Hubp 1986, 1990).

La cuenca de México es expresión de este relieve. Se trata de una altiplanicie a un nivel mínimo (nivel de base) de 2 240 msnm, aunque por el hundimiento puede ser cercano a los 2 230 m en algunas localidades y se encuentra rodeada de elevaciones montañosas: por el norte, la sierra de Pachuca; al occidente, el conjunto serrano de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo; en el extremo noroeste, la sierra de Tezontlalpan. Al oriente se encuentran los volcanes más altos de la sierra Nevada, alineados de sur a norte: Popocatépetl (5 400 msnm) e Iztaccíhuatl (5 280 msnm); éstos se extienden en la misma dirección a la sierra de Río Frío, donde dominan Telapón y Tláloc (aproximadamente 4 000 m cada uno). El extremo sur de la cuenca de México corresponde a la sierra Chichinautzin.

El origen de la cuenca se explica por la poderosa actividad volcánica que formó la Faja Volcánica Transmexicana, en especial en el Plioceno-Cuaternario, los últimos siete millones de años (Mooser 1957). Se considera que antes de la formación de la sierra Chichinautzin, el actual territorio de la cuenca era atravesado por corrientes fluviales de norte a sur, hacia la vertiente del Pacífico. La sierra Chichinautzin fungió como una barrera que interrumpió el escurrimiento, lo que dio origen a los lagos de la cuenca de México (Mooser 1957).

Unidades del relieve

Las provincias, a su vez se subdividen en subprovincias y éstas en otras unidades menores. No hay una clasificación de aceptación universal, pero en general, se consideran seis o siete categorías, donde el orden mayor (I) corresponde a los continentes y las cuencas oceánicas, hasta un orden VII; la Faja Volcánica Transmexicana representa una unidad de segundo orden; de tercer orden son los relieves que constituyen la cuenca de México (sierras volcánicas, altiplanicie). De cuarto orden son formas menores, como conos volcánicos, derrames de lava y cañadas. Los conos detríticos son ejemplo del quinto orden; de sexto, rasgos de las lavas, como las grietas, y finalmente, del séptimo orden, formas de centímetros y milímetros, como las vesículas de la lava.

Una clasificación general del relieve inicia con una regionalización o zonificación en la cual se definen unas pocas unidades, de cinco a diez, que poseen rasgos comunes de forma y origen a las que posteriormente se agrega un topónimo, por ejemplo, planicie lacustre de Zumpango, sierra volcánica de Guadalupe (Santos y colaboradores 1985-1986). En la planicie de la Ciudad de México se encuentran también algunas elevaciones volcánicas aisladas: cerros de la Estrella, Xochitepec y Chapultepec, peñones del Marqués y de los Baños. Desde el punto de vista geomorfológico, la Ciudad de México se localiza en siete unidades del relieve (cuadro 1).

Esta clasificación geomorfológica se complementa con la expuesta en el mapa de regionalización de la Ciudad de México (figura 2). Las sierras de Santa Catarina y Guadalupe se corresponden, en lo general, en ambos mapas; las sierras de Las Cruces, la mayor parte de la Chichinautzin (el nivel altitudinal mayor) y el Ajusco, pertenecen a la región Bosques y Cañadas; la porción inferior de la sierra Chichinautzin queda comprendida en las Serranías de Xochimilco y Tláhuac; la planicie lacustre, el piedemonte y superficies menores de otras unidades forman parte de la región Parques y Jardines Urbanos, excepto la localidad de Humedales de Xochimilco y Tláhuac.

Fries en 1956 definió a la unidad geológica Chichinautzin tomando el nombre de uno de

Cuadro 1. Unidades geomorfológicas de la Ciudad de México.

Unidad geomorfológica	Altitud máxima y mínima (msnm)	Formas del relieve	Origen	Edad (años)	Procesos actuales
Sierra Chichinautzin	3 620, 2 250	Conos volcánicos, derrames de lava, laderas de piroclastos	Volcanismo monogenético	Menos de 40 000	Infiltración, intemperismo, actividad humana
Volcán compuesto Ajusco	3 930, 3 000	Laderas de lava, barrancos profundos	Volcanismo poligenético	Más de 270 000	Erosión fluvial, procesos gravitacionales
Sierra de Las Cruces	3 800, 2 600	Laderas de lava, barrancos profundos	Volcanismo poligenético	Más de 200 000	Erosión fluvial, procesos gravitacionales
Piedemonte de la sierra de Las Cruces	2 600, 2250	Depósitos de flujos volcánicos y fluviales	Volcanismo en la sierra y acumulación fluvial	Más de 200 000	Erosión fluvial, procesos gravitacionales
Sierra de Guadalupe	3 000, 2 240	Volcanismo poligenético	Volcanismo	Más de 2 millones	Erosión fluvial, procesos gravitacionales
Sierra de Santa Catarina	2 770, 2 240	Conos volcánicos, derrames de lava, laderas de piroclastos	Volcanismo monognético	Menos de 40 000	Erosión fluvial, procesos gravitacionales
Planicie lacustre de la cuenca de México	2 240, 2 230	Planicie horizontal y subhorizontal	Lago desecado de manera artificial	Menos de 500	Hundimiento, agrietamiento

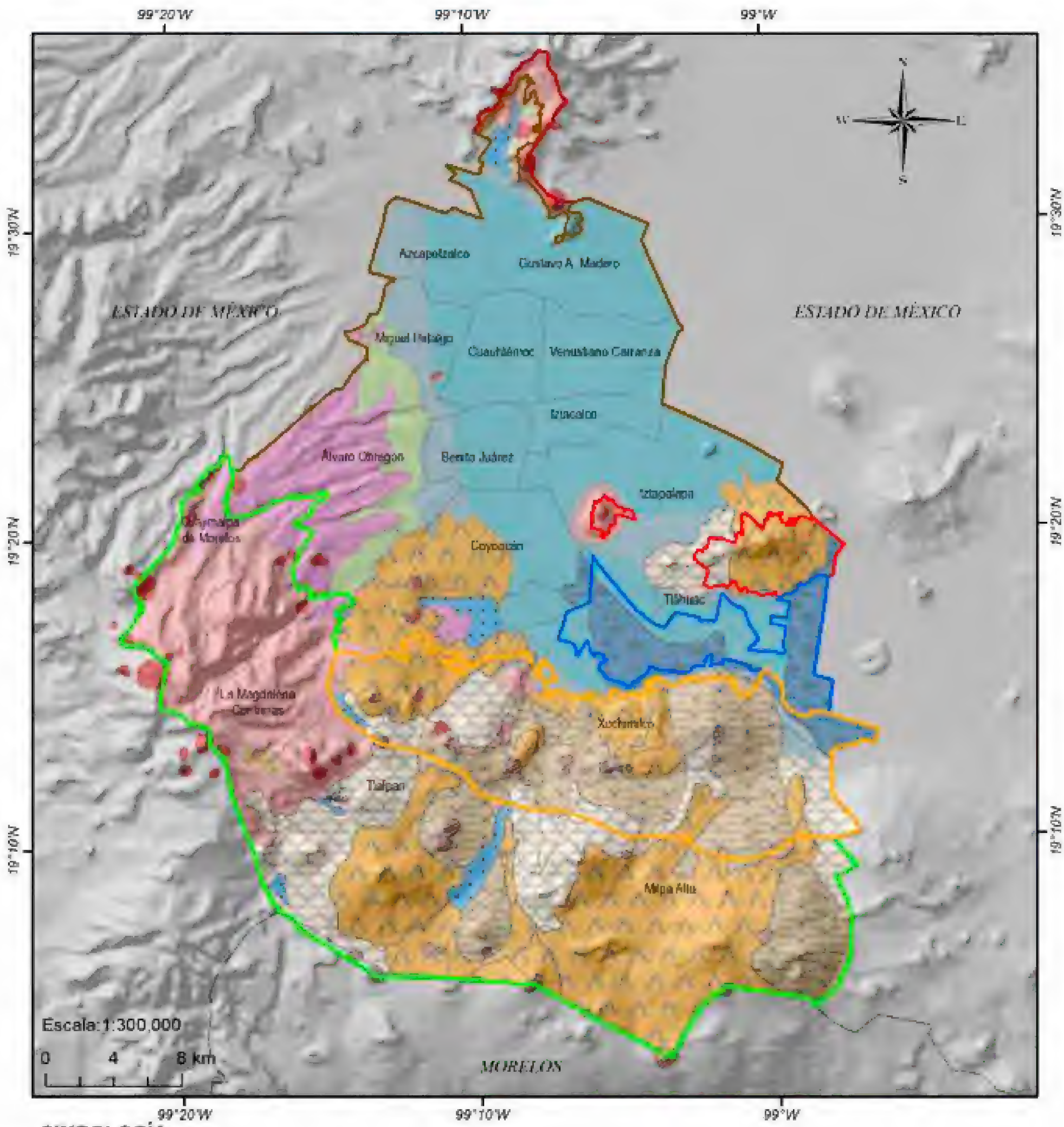
Fuente: elaboración propia con base en las referencias citadas en el texto.

los volcanes de la misma. Posteriormente se aplicó el nombre de sierra Chichinautzin al conjunto de elevaciones que delimitan la cuenca de México por el sur. Consiste en cerca de 300 conos volcánicos monogenéticos (de una etapa de actividad) del tipo del Paricutín, con erupciones explosivas que dan origen al cono principal, con un cráter y uno o más conos adventicios. Las erupciones explosivas generan depósitos de piroclastos, fragmentos (de milímetros a algunos metros de diámetro) de lava que expulsa el volcán durante su actividad, que son arrojados por los gases contenidos en el magma, a altura diversa; enfrían en la atmósfera y se precipitan fríos a la superficie terrestre. Constituyen las laderas del volcán y sus inmediaciones.

Otro tipo de erupción es la efusiva, que consiste en lavas fluidas que surgen por bocas, generalmente en la base del volcán, en unos casos es abundante y rodean al volcán de forma circular; en otros se extienden principalmente en una dirección, como en el Xitle, algunos kilómetros hacia el norte. Esto depende del volumen de lava expulsada y del relieve anterior que influyó en el escurrimiento.

El relieve de esta unidad es de los más jóvenes, no sólo en la cuenca de México sino del territorio mexicano; en general los numerosos conos volcánicos son de menos de 50 000 años, mientras que algunos de ellos son de los últimos 10 000 años (Martin Del Pozzo 1980, 1982, 1990; Siebe 2000, Siebe y colaboradores 2004). La franja de diversa anchura dispuesta entre los volcanes Ajusco y Popocatépetl, se puede considerar como un conjunto montañoso en proceso de desarrollo.

Se reconocen dos formas principales de los derrames de lava: la de Xicomulco-Tetequillo tiene su origen en una serie de bocas alineadas de occidente a oriente, aproximadamente entre Topilejo y Milpa Alta. Son lavas de origen



SIMBOLOGÍA

Límite delegacional

Geomorfología

- Piedemonte cubierto de lava
- Conos volcánicos monogenéticos jóvenes
- Derrames de lava con clara expresión (malpais)
- Derrames de lava cubiertos por piroclastos
- Derrames de lava parcialmente cubiertos por piroclastos
- Laderas montañosas volcánicas (incluye cortes erosivos)
- Piedemonte-nivel inferior
- Piedemonte-nivel superior
- Cauce de valles fluviales
- Planicie aluvial-lacustre marginal
- Planicie lacustre con humedales
- Planicie lacustre urbanizada
- Volcanes de diversos tipos y edad

Región de biodiversidad

- Bosques y Cañadas
- Humedales de Xochimilco y Tláhuac
- Parques y Jardines Urbanos
- Serranías de Xochimilco y Milpa Alta
- Sierra de Guadalupe
- Sierra de Santa Catarina

Figura 2. Geomorfología. Fuente: elaboración propia.

viscoso, del tipo de las dacitas, forman derrames y estrechos de hasta 5-6 km de longitud, de 800 a 1 200 m de anchura, con bordes altos y escarpados. Su superficie es casi plana, y poco fracturada, de lo que resulta una escasa permeabilidad. Por esta razón, los arroyos principales se localizan en las márgenes del derrame, entre las zonas de contacto.

La segunda forma es de conos constituidos de escoria y piroclastos, y lavas que componen la mayor superficie de la sierra Chichinautzin (Martin Del Pozzo 1980). Los derrames de lava, por su expresión en el relieve, son de tres tipos: en el primero la lava aflora completamente; el segundo tipo es de cobertura de piroclastos, pero con numerosos afloramientos; y el tercero, totalmente cubierto de piroclastos (Lugo-Hubp 1984).

Las lavas más jóvenes forman un relieve de malpaís, una superficie escabrosa en donde se alternan elevaciones y depresiones escarpadas con diferencia de altura de decenas de centímetros a 10-20 m. Es característico de los volcanes Chichinautzin, Pelado, Cuautzin, Ocuscayo, Xitle y otros (Martin Del Pozzo 1980). Los conos monogenéticos son de una altura aproximada de 150 m y con una pendiente media de 32°. Poseen cráter con un perímetro de aproximadamente 1 000 m. Las lavas del Xitle todavía a fines de la década de los años sesenta, fueron ocupadas en grado mínimo por asentamientos humanos en su extremo norte, principalmente por la colonia del Pedregal de San Ángel y Ciudad Universitaria.

El volcán Ajusco, de aproximadamente 4 000 msnm, representa la mayor altitud de la Ciudad de México y separa las sierras volcánicas de Zempoala, al sur y Las Cruces al norte. Al oriente y prácticamente hasta la base del Popocatépetl se extiende la sierra Chichinautzin; al occidente del Ajusco se dispone en dirección al Xinantécatl o Nevado de Toluca, la misma unidad geológica Chichinautzin.

El Ajusco tiene su base a 3 000 msnm y consiste en domos volcánicos sobrepuestos; esto es resultado de una actividad volcánica prolongada en el tiempo. Su edad se considera del orden de 390 000 años (Mora *et al.* 1991) y 270 000 años (Mooser *et al.* 1992). En su relieve dominan las laderas de pendiente fuerte cortadas por numerosos barrancos, de los cuales, los mayores en longitud y profundidad fueron ocupados en el pasado por glaciares, como propusieron White y colaboradores (1990), con desarrollo en etapas de presencia y ausencia del hielo en los últimos 28 000 años.

La sierra de Las Cruces es un conjunto de volcanes sobrepuestos que separan las cuencas de Toluca y México. Sus cimas principales son La Palma y San Miguel (aproximadamente a 3 800 msnm cada una). En general dominan en el relieve las laderas de pendiente fuerte, cortadas por barrancos profundos. Este conjunto montañoso se formó a lo largo del Plioceno-Cuaternario por numerosos volcanes de diversas dimensiones (Mooser 1957).

El piedemonte de la sierra de Las Cruces es una superficie que presenta cambios bruscos de pendiente en su contacto superior con las laderas, en donde pasa de 15-35° a 6-9° y se extiende como una rampa en dirección al oriente, hacia la ribera del antiguo lago de Anáhuac. Tiene una longitud, paralela a la sierra, de unos 10 km, y en sentido transversal gradualmente disminuye la inclinación para terminar en 1.5-1° y fundirse con la planicie lacustre.

El piedemonte se ha formado por la conjugación de depósitos de material rocoso proveniente de erupciones volcánicas (endógeno), y por procesos exógenos, por la acumulación de sedimentos que realizan corrientes fluviales y otros provenientes de desprendimientos y deslizamientos. Éstos se acumulan en la base de las laderas, donde la pendiente del terreno no favorece el movimiento de partículas.

El piedemonte se transforma también por procesos gravitacionales y erosión fluvial. Esta última se desarrolla con facilidad por el escurrimiento en superficies constituidas por material de poca consolidación, a lo largo de

contactos entre unidades geológicas diferentes y en fracturas, donde ha ocurrido la formación de barrancos. Por ejemplo, el río La Magdalena escurre a lo largo del contacto entre las lavas del Xitle y las rocas de la sierra de Las Cruces.

Las superficies conservadas de la planicie inclinada (piedemonte) son la divisoria o parteaguas entre los barrancos paralelos. Son estrechas, de decenas a algunos cientos de metros y corresponden con las avenidas principales y los asentamientos humanos originales de la década de 1950 (Lugo-Hubp 1984).

Los barrancos representan la superficie mayor del piedemonte. En ellos se desarrolla la vegetación de árboles y arbustos, en una concentración mayor que en las laderas contiguas, por las condiciones de escurrimiento superficial e infiltración.

En el mapa geomorfológico el piedemonte se subdivide en las unidades, superior e inferior, cuyo límite corresponde con un cambio brusco de la pendiente y la altitud. El superior se extiende en promedio de los 2 700-2 800 a los 2 400 msnm, con una pendiente de 5-7°, mientras que el inferior se reconoce aproximadamente a los 2 250 m, con inclinación descendente de 3° a 1°.

Desde los años setenta, cuando crecieron los asentamientos humanos a los lados de las avenidas de los parteaguas, se desplazaron las construcciones al interior de los barrancos. Esto ha sido motivo de numerosos casos de daños por procesos gravitacionales y crecidas fluviales, además de un deterioro del ambiente.

La Sierra de Guadalupe se localiza en el extremo norte de la ciudad y en su mayor parte pertenece al Estado de México. En la superficie es de forma circular con un diámetro aproximado de 17 km. Se une al occidente con la sierra de Monte Alto y su altitud máxima es cercana a los 3 000 msnm. Se formó principalmente durante el Mioceno y Plioceno por erupciones que con el tiempo formaron volcanes unidos y sobrepuestos (Mooser 1975). El tipo de estructuras volcánicas que constituyen la sierra son muy resistentes a la destrucción o erosión. Antes de la desecación de los lagos, la Sierra de Guadalupe era una especie de península, rodeada por agua, excepto en el flanco occidental.

La Sierra de Santa Catarina es una serie de conos volcánicos monogenéticos asentados en el oriente de la planicie lacustre y alineados a lo largo de 12 km. Recibe el nombre del mayor de dichos conos, conocido también como Guadalupe. Desde el punto de vista geológico es parte de la unidad Chichinautzin, debido a su semejanza en origen y edad. Inicia en el occidente con el Yuhualixqui, al oriente del cerro de la Estrella, entre las avenidas Zaragoza y Tláhuac, un cono aislado y ya casi destruido por la actividad humana (extracción de material); sigue al oriente el Xaltepec, otros conos menores, el volcán de mayores dimensiones, el Santa Catarina. En el extremo oriental, al lado del anterior, se dispone el volcán freático magmático (xalapazco) La Caldera.

En los últimos 20 años los asentamientos humanos han avanzado por las laderas de esta unidad, lo que ha generado procesos gravitacionales dañinos por desprendimiento de rocas y deslizamientos del terreno.

La planicie lacustre es resultado del desecado artificial de los lagos (humedales) de la cuenca, los cuales cubrieron un amplio territorio y han sufrido un cambio extraordinario por la actividad humana. En el sur los lagos de Xochimilco y Chalco permanecieron por más tiempo, incluso en la actualidad se presenta una porción de ambos con niveles variables a lo largo del año. Actualmente los Humedales de Xochimilco y Tláhuac son residuos menores de los lagos y el resto de la planicie está cubierta casi en su totalidad por la mancha urbana.

La extracción de agua del subsuelo que inició a mediados del siglo XIX ha provocado el hundimiento de la zona urbana, lo que fue notorio en la segunda década del siglo XX (Marsal 1992); este proceso continúa en la actualidad, alcanzando el orden de 10 m en aproximadamente un siglo. La superficie horizontal, característica de los lagos, se ha transformado con inclinaciones de 0.5° a 3° por el hundimiento

diferencial, lo que se acompaña de formación de grietas, tanto en campos de cultivo, como en la zona urbana (Lugo-Hubp *et al.* 2001).

Conclusión

El mapa geomorfológico de la Ciudad de México muestra siete zonas que se diferencian por rasgos de forma y origen. El interés radica no sólo en las características de cada una de las zonas, sino por la relación que hay entre ellas. Un mejor provecho se obtiene de los mapas temáticos de un mismo territorio cuando se analizan comparando las diversas unidades delimitadas. Así, se enriquece la información al comparar el mapa en cuestión con otros de geología, clima, vegetación, suelo, uso del suelo, de población y varios más. Esto tiene un interés en cuanto al conocimiento geográfico de la ciudad y es útil en estudios aplicados a la solución de problemas y de toma de decisiones.

Las unidades mayores tienen relación, cada una, con un determinado tipo de problemas. Por ejemplo, en la planicie lacustre ocurren inundaciones y hundimientos que causan deformaciones en calles y agrietamientos. Las corrientes fluviales en el piedemonte pueden provocar inundaciones y procesos gravitacionales, lo mismo en las márgenes que en su desembocadura.

Por otra parte, este tipo de análisis también puede ayudar a identificar algunos beneficios que proveen otras unidades. Por ejemplo, las sierras Chichinautzin, Las Cruces y el volcán Ajusco, por sus condiciones de vegetación, clima, agua superficial y subterránea, representan un beneficio muy grande para los habitantes de la Ciudad de México, por lo que es necesario procurar su conservación e incluso la restauración de las localidades dañadas, como los barrancos afectados por basura.

Agradecimientos

Se agradece a Carolina Ramírez Núñez y a Nayelli Zaragoza Zúñiga por su colaboración en este trabajo.

Referencias

De Cserna, Z., M. de la Fuente, M. Palacios, *et al.* 1987. Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México. *Boletín* 104. Instituto de Geología-UNAM (IG-UNAM). México.

Delgado, H. y A.L. Martin del Pozzo. 1993. Pliocene to Holocene volcanic Geology at the junction of Las Cruces, Chichinautzin and Ajusco ranges, southwest of Mexico City. *Geofísica Internacional* 32(3):511-522.

Delgado, H., R. Molinero, P. Cervantes, *et al.* 1998. Geology of Xitle volcano in southern Mexico City - a 2000 year old monogenetic volcano in urban area. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 15(2):115-134.

Fenneman, N.M. 1914. Physiographic boundaries within the United States. *Association of American Geographers Annals* 4:84-134.

Fries, C. 1956. Bosquejo geológico de la región entre México, D.F., y Taxco, Gro. Pp. 11-36. En: *Libreto Guía de las Excursiones A4 y C2.* XX Congreso Geológico Internacional. México.

——. 1960. Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Boletín, IG-UNAM. México.

Lugo-Hubp, J. 1984. *Geomorfología del sur de la cuenca de México.* Serie Varia, IG-UNAM 8.

——. 1986. El Sistema Neovolcánico Mexicano. Una de las regiones más activas de México. *Información Científica y Tecnológica* 8(112):32-35. CONACYT. México.

——. 1990. El relieve de la república mexicana. *Revista del IG-UNAM* 9:82-111.

Lugo-Hubp, J., F. Mooser, A. Pérez Vega y J. Zamorano. 1994. Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina, D.F. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 11(1):43-52.

Lugo-Hubp, J., J.J. Zamorano y A. García-Romero. 2001. Direct and indirect anthropogenic modifications in the basin of Mexico. Pp. 411-427. En: *Geoenvironmental mapping: method, theory and practice.* P.T. Bobrowsky A.A. Balkema (ed.). Rotterdam.

Marsal, R.J. 1992. *Hundimiento de la Ciudad de México*. El Colegio Nacional. México.

Martin Del Pozzo, A.L. 1980. *Vulcanología de la Sierra Chichinautzin*. Tesis de maestría en Geología, Facultad de Ciencias-UNAM. México.

——. 1982. Monogenetic vulcanism in Sierra Chichinautzin, México. *Bulletin of Volcanology* 45(1): 9-23.

——. 1990. *Geoquímica y paleomagnetismo de la Sierra Chichinautzin*. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias-UNAM, México.

Mooser, F. 1957. Los ciclos de volcanismo que formaron la cuenca de México. Pp. 337-348. En: *20 Congreso Geológico Internacional: Vulcanología del Cenozoico*, t. 2. México.

Mooser, F. 1975. Geología de la cuenca de México. Pp. 9-38. En: *Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*, t. 3. México.

Mooser, F., Montiel y A., Zúñiga. 1992. Nuevo mapa geológico del surponiente del Valle de México. Pp. 5-16. En: *Simposio: Experiencias geotécnicas en la zona poniente del Valle de México*. I. Sánchez Mora (coord.). Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México.

——. 1996. *Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla*. 35 mapas a escala 1:1000 000. Comisión Federal de Electricidad, México,.

Mora, A., C. Caballero, J.F. Urrutia y S. Uchiumi. 1991. Southward migration of volcanic activity in the Sierra de Las Cruces basin of Mexico? - A preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study. *Geofísica Internacional* 30:61-70.

Santos, O.A., C.H. Cuanalo y C.A. Ortiz Solorio. 1985-1986. Metodología de regionalización para grandes territorios, basada en el concepto de paisaje. *Revista de Geografía Agrícola* 9-10:14-24.

Schlaepfer, C. 1968. *Carta geológica de México. Hoja México 14-Q-h (5), 1:100,000, y texto: Resumen de la geología de la hoja México, Distrito Federal y estados de México y Morelos*. IG-UNAM, México.

Siebe, C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, Southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 104:45-64.

Siebe, C., V. Rodríguez-Lara, P. Schaaf y M. Abrams. 2004. Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa and Chichinautzin scoria cones. South of Mexico City: implications for archaeology and future hazards. *Bulletin of Volcanology* 66:203-225.

Vázquez-Sánchez, E. y L. Jaimes-Palomera. 1989. Geología de la cuenca de México. *Geofísica Internacional* 28(2):133-190.

White, S.E., M. Reyes C., J. Ortega Ramírez y S. Valastro. 1990. *El Ajusco: geomorfología volcánica y acontecimientos glaciales durante el Pleistoceno Superior y comparación con las series glaciales mexicanas y las de las montañas Rocallosas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), Colección Científica, México.

Paisajes morfoedafológicos

Helena Cotler Ávalos

Introducción

Los suelos constituyen cuerpos naturales que se distribuyen sobre la superficie terrestre y son producto del intemperismo de las rocas y la transformación de la materia orgánica. La formación y el desarrollo de los suelos depende del clima, la biota, el relieve, el material parental (es decir la roca o sedimento sobre y con el cual se forman) y el tiempo (Brady y Weil 1999). Dada su naturaleza, los suelos son frágiles, es decir que pueden degradarse a una velocidad mayor de la que requiere su formación.

Aunque conforman una delgada y desigual capa sobre la superficie terrestre, los suelos proveen el medio para el enraizamiento de las plantas y proporcionan los nutrimentos necesarios para su desarrollo. Estas dos últimas funciones influyen sobre la diversidad de la flora y de la fauna de la región (Brady y Weil 1999). Otras funciones igual de trascendentes son la regulación de la parte terrestre del ciclo hidrológico (evaporación, infiltración, escurrimiento) y la purificación del agua (Brady y Weil 1999). Asimismo, constituyen el medio donde se realizan los ciclos biogeoquímicos necesarios para el reciclaje de los compuestos orgánicos. Como resultado de este proceso se estima que el contenido de carbón almacenado en el primer metro del suelo es 1.5 veces mayor a aquel acumulado en la biomasa (Sombroek *et al.* 1993), constituyendo la tercera fuente más importante de carbono (Lal 1999).

Según sus características, el suelo funciona también como hábitat de un gran número de organismos, desde microrganismos hasta pequeños mamíferos y reptiles, haciendo posible la conservación de una gran biodiversidad. Finalmente, en los ecosistemas urbanos, el suelo juega un papel fundamental como cimiento de la infraestructura urbana y como soporte de sus áreas verdes (Huinink 1998).

Las condiciones ambientales de las laderas de montaña, lomeríos, piedemontes y planicies que conforman la Ciudad de México presentan diferentes orígenes e historias de aprovechamiento (Ezcurra *et al.* 2006) que han dado lugar a suelos muy distintos en términos de sus características (Cram *et al.* 2008, Cotler y Siebe 2000). Es decir que la variabilidad expresada en términos de la historia geomorfológica, cambios climáticos y vegetación ha determinado una gran diversidad de suelos, y con ello, la provisión de un abanico de servicios ambientales. Por ello, el entendimiento de los suelos se enriquece cuando se considera a las condiciones ambientales circundantes. Un medio para evaluar a los suelos en su contexto territorial involucra la consideración de los paisajes morfoedafológicos.

El enfoque morfoedafológico consiste en acceder al conocimiento del medio físico, tanto en su descripción como en su dinámica (Geissert y Rossignol 1987). Dado que los factores que influyen sobre la geomorfología y los

Cotler, H. 2016. Paisajes morfoedafológicos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I, CONABIO/SEDEMA, México, pp. 65-74.

suelos de un lugar son los mismos (clima, vegetación, relieve, fenómenos hidrológicos y las actividades antrópicas), su dinámica también estará ligada en el tiempo. Así la fragilidad de una unidad geomorfológica, sujeta a procesos de erosión se verá reflejada en las características de los suelos (como la profundidad, la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica, entre otras). Las unidades delimitadas en los mapas morfoedafológicos son sintéticas y presentan una visión global del paisaje (Geissert y Rossignol 1987).

La entidad concentra una de las ciudades más grandes del país y del mundo, su crecimiento se ha hecho a expensas de muchos recursos naturales (Ezcurra *et al.* 2006), entre ellos los suelos. La infraestructura urbana, en la forma de construcciones y vías de comunicación, sella los suelos con materiales impermeables (asfalto, cemento) impidiendo su contacto con la atmósfera, el agua y la vegetación, destruyendo sus propiedades y eliminando su capacidad de proveer servicios ambientales. Este capítulo tratará sobre los paisajes que han dado lugar a los suelos que aún no están sellados por la urbanización .

Los suelos en el paisaje

El análisis morfoedafológico exhaustivo de la ciudad hace referencia a 64 unidades geomorfológicas, diferenciadas por su morfología, morfometría, litología y suelos (Cotler *et al.* 2002). Los suelos que hoy en día quedan sin sellar por la mancha urbana se concentran en sólo siete unidades, donde más de 50% (447.48 km^2) cubre laderas de montañas distribuidas a lo largo de la sierra de Las Cruces, el Ajusco y Chichinautzin, y una mínima fracción en las cimas y laderas de la sierra Santa Catarina (cuadro 1 y figura 1).

La cuenca de México, donde se ubica la Ciudad de México, presenta dos grandes climas: el semiárido de la porción centro y noreste de la planicie y el templado subhúmedo de las partes sur y poniente, con altitudes de 2 000 a 2 800 msnm, donde la precipitación es más abundante (800-1000 mm/año) (Jáuregui 2000). El efecto de este clima sobre las diversas formaciones geológicas de origen volcánico, de distinta composición y edad (Lugo 1984), ha dado lugar a cinco grandes tipos de suelos: Andosoles, Phaeozem, Leptosoles, Luvisoles y Solonchack (FAO-ISRIC-ISSS 1998) que se distribuyen de manera diferenciada en las siete unidades morfoedafológicas.

Los Andosoles que se encuentran sobre las laderas formadas a partir de material volcánico (básicamente arenas y cenizas volcánicas ricas en vidrio), presentan horizontes superficiales con un alto contenido de materia orgánica; presenta colores oscuros, estructura granular o migajón, textura franca a francoarenosas y densidades aparentes inferiores a 0.9, es decir suelen ser suelos porosos y friables. Se localizan por arriba de los 2 800 msnm en la sierra Monte Alto y Chichinautzin (Cervantes y Alfaro 2000). Hoy en día estos suelos propician la retención de humedad y la infiltración, a la vez que tienen el potencial de secuestrar y capturar carbono (Cotler *et al.* 2002; FAO-ISRIC-ISSS 1998).

En las laderas con pendiente moderada pueden encontrarse suelos de tipo Phaeozem, ricos en materia orgánica y nutrimentos, resultado de la actividad biológica. La textura media y la estructura granular en el horizonte superficial, en conjunto con la porosidad, confieren al suelo buenas condiciones aeróbicas y por lo tanto un buen drenaje interno y una buena capacidad de retención de humedad aprovechable, lo que permite la penetración de raíces y la infiltración del exceso de agua (FAO-ISRIC-ISSS 1998).

En las zonas más empinadas y propensas a erosionarse o donde la pedogénesis (o formación de suelos) es incipiente, los suelos de tipo Leptosol se caracterizan por su escasa profundidad y desarrollo, ya que son suelos superficiales, lo que limita la intensidad de sus procesos (FAO-ISRIC-ISSS 1998).

Cuadro 1. Unidades morfoedafológicas de la Ciudad de México.

Grandes unidades de relieve	Regionalización ecológica (utilizada para esta publicación)	Código en mapa	Unidad geomorfológica	Asociación de suelos (FAO-ISRIC-ISSS, 1998)	Área km² (%)
Montañas	Bosques y Cañadas, Serranías de Xochimilco y Milpa Alta	I	Cimas y laderas de montañas formadas por basalto, tobas basálticas y brechas volcánicas del Cuaternario	Leptosol lítico, Phaeozem háplico y Andosol mólico	447.48 (54.05%)
	Bosques y Cañadas, Serranías de Xochimilco y Milpa Alta	II	Laderas en lomeríos y colinas formados por basalto, tobas basálticas y brechas volcánicas basálticas del Cuaternario	Phaeozem háplico, Andosol mólico y Leptosol lítico	115.67 (13.25%)
	Bosques y Cañadas	III	Cimas de montañas formadas por rocas ígneas extrusivas intermedias del Cuaternario superior e inferior	Andosol mólico, Luvisol mólico, Leptosol lítico	140.72 (16.11%)
	Sierra de Guadalupe	IV	Laderas de montañas formadas por rocas ígneas extrusivas ácidas y brechas volcánicas intermedias a básicas del Cuaternario	Phaeozem háplico, Leptosol lítico	4.04 (0.46%)
Colinas y lomeríos	Bosques y Cañadas	V	Laderas de lomeríos formados por brechas volcánicas básicas a intermedias del Cuaternario superior e inferior	Andosol mólico, Phaeozem háplico	26.25 (3.0%)
	Sierra de Santa Catarina	VI	Laderas y superficies acumulativas de lomeríos formados por brecha volcánica intermedia a básica del Cuaternario	Phaeozem háplico, Leptosol lítico, Andosol mólico	20 (2.29%)
Planicie proluvial-lacustre	Sierra de Santa Catarina	VII	Llanura plana a suavemente ondulada, lacustre-acumulativa formada por depósitos lacustres del Cuaternario superior	Phaeozem háplico, Phaeozem gléyico, Solonchack gleyico	2.27 (0.26%)
TOTAL					756.43 km²

Fuente: modificación de Cotler *et al.* 2002.

Los Luvisoles en esta región se desarrollan sobre laderas con pendientes suaves de materiales volcánicos no consolidados, bajo un clima subhúmedo templado. Se caracterizan por el lavado de arcilla hacia horizontes (capas) profundas, donde frecuentemente se produce una acumulación de la arcilla y denota un claro enrojecimiento por la acumulación de óxidos de hierro (FAO-ISRIC-ISSS 1998).

Los Solonchack se desarrollan en regiones áridas o semiáridas, principalmente en zonas permanentemente o estacionalmente inundadas. La vegetación es herbácea con frecuente predominio de plantas halófilas (tolerantes a la sal); en ocasiones aparecen en zonas de regadío con un manejo inadecuado.

En estos suelos, la acumulación de sales varía en función de la profundidad del manto freático, siendo mayor en la superficie cuando el manto freático es somero. Los Solonchaks presentan una capacidad de utilización muy reducida. Muchas áreas son utilizadas para

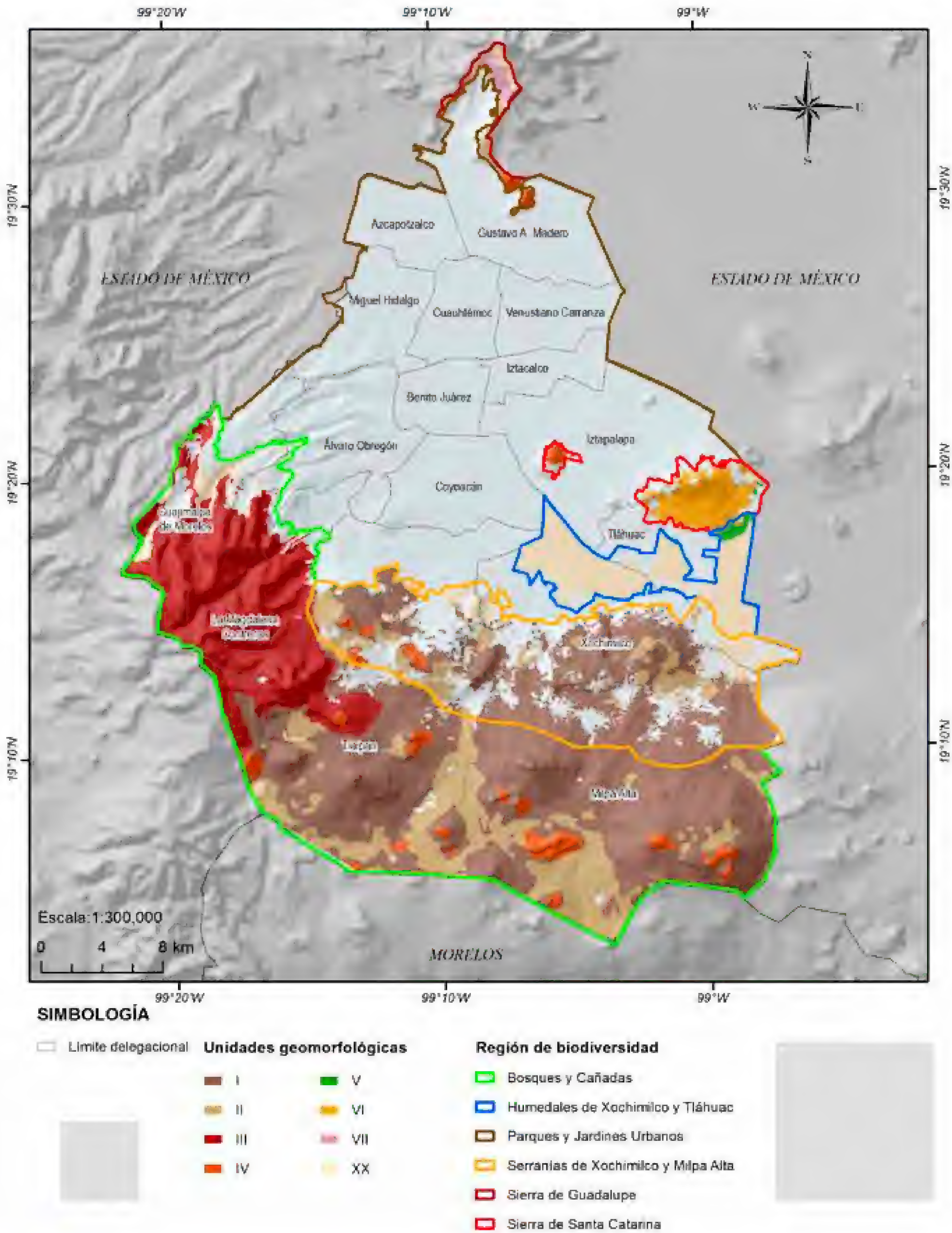


Figura 1. Mapa morfoedafológico. Fuente: Cram *et al.* 2008.

pastizales extensivos sin ningún tipo de uso agrícola.

La escala regional (1:250 000) a la cual se delimitaron las unidades morfoedafológicas explica la agrupación de formas, rocas y suelos.

1. Cimas y laderas de montañas formadas por basalto, tobas basálticas y brechas volcánicas del Cuaternario
   Estas montañas, formadas a partir de rocas volcánicas extrusivas (basalto, tobas basálticas y brechas volcánicas intermedias a básicas) del Cuaternario, coinciden con las regiones Bosques y Cañadas y Serranías de Xochimilco y Milpa Alta. En ellas, la disección, producto de la erosión, ha modelado diversas geoformas como laderas, cimas, superficies acumulativas y barrancos, cuyas pendientes pueden variar de fuertes (20-30°) a muy suaves (<1°). Esta unidad morfoedafológica conforma el parteaguas entre la cuenca de México y la cuenca del río Balsas.

2. Laderas en lomeríos y colinas formados por basalto, tobas basálticas y brechas volcánicas basálticas del Cuaternario
   Entre las zonas montañosas del sur de la ciudad se pueden distinguir lomeríos y colinas, con laderas de menor pendiente. Estas geoformas también se han desarrollado a partir de rocas volcánicas extrusivas del Cuaternario, dando lugar a suelos de tipo Phaeozem, Andosol y Leptosol. Esta unidad morfoedafológica coincide con las regiones de Bosques y Cañadas y Serranías de Xochimilco y Milpa Alta y también constituye el parteaguas entre la cuenca de México y la cuenca del río Balsas.

3. Cimas y laderas de montañas formadas por rocas ígneas extrusivas intermedias del Cuaternario superior e inferior
   Al oeste de la ciudad, conformando el parteaguas entre la cuenca de México y la cuenca Lerma-Chapala se ubica esta unidad morfoedafológica. En ella, las montañas han sido formadas por rocas ígneas extrusivas, como el basalto, del Cuaternario superior e inferior. El modelado geomorfológico producto del paleoclima (y clima actual), de la vegetación y de los procesos erosivos han originados cimas, laderas y algunas superficies acumulativo-erosivas, de pendientes muy variables (desde 5° hasta >30°). Esta unidad coincide con la región Bosques y Cañadas. Aquí los suelos son del tipo predominantemente Andosoles que están asociados con Luvisoles y Leptosoles.

4. Cimas de montañas formadas por rocas ígneas extrusivas ácidas y brechas volcánicas de intermedias a básicas del Cuaternario
   Aislada en la delegación Iztapalapa emerge parte de la Sierra de Guadalupe, con laderas erosionadas mediana a fuertemente inclinadas (10-20° de pendiente), formadas sobre rocas ígneas extrusivas intermedias a básicas (basalto, tobas basálticas, brechas volcánicas). En ella la cima aún presenta suelos no sellados de tipo Andosol, Leptosol y Phaeozem.

5. Laderas de lomeríos formados por brechas volcánicas básicas a intermedias del Cuaternario superior e inferior
   Al este y oeste de la ciudad, intercaladas entre laderas de montañas, coincidente con la región Bosques y Cañadas se distribuye esta unidad formada a partir de rocas volcánicas extrusivas básicas a intermedias, como basalto, tobas basálticas y brechas volcánicas (figura 3). Las laderas presentan una pendiente de 5-10° donde se desarrollan suelos de tipo Phaeozem y Andosol.

6. Laderas y superficies acumulativas de lomeríos formados por brecha volcánica intermedia a básica del Cuaternario
   Esta unidad morfoedafológica presente en la región Sierra Santa Catarina caracteriza tanto a las laderas como a las superficies planas acumulativas. En las laderas se concentran los Andosoles, mientras que en las

Figura 2. Agricultura en laderas montañosas del sur. Foto: Helena Cotler Ávalos.

Figura 3. Sustrato en la zona montañosa del sur de la ciudad. Foto: Helena Cotler Ávalos.

planicies se distribuyen los Phaeozem háplico y los Leptosoles.

7. Llanura plana a suavemente ondulada, lacustre-acumulativa formada por depósitos lacustres del cuaternario superior
   En el extremo norte se ubica esta unidad morfoedafológica, ubicada en la región Sierra de Guadalupe, que a diferencia de las otras unidades presenta un clima semiárido. En ella, la acumulación de sedimentos provenientes de montañas aledañas, de origen volcánico ha moldeado esta superficie ondulada donde se han desarrollado suelos de tipo Phaeozem; mientras que en las zonas planas, formados sobre material no consolidado de origen volcánico, se encuentran los Solonchack.

Los suelos y sus servicios ambientales

En función de las características morfoedafológicas y de su ubicación en el relieve, los servicios ambientales proporcionados por estos suelos son diversos: infiltración, mantenimiento de vegetación, captura de carbono, hábitat de fauna, recreación, regulación de erosión, entre otros (Brady y Weil 1999). Sin embargo, la oferta de estos servicios está estrechamente relacionada con el estado de integridad de los suelos. Por ello, la degradación a la cual están sujetos merma su capacidad de funcionar, muchas veces de manera irreversible.

En las zonas montañosas, ubicadas en la parte alta y media de la cuenca, la función de infiltración de agua por los suelos es vital. La recarga en las zonas de montaña y piedemonte que rodean la ciudad son esenciales para sostener el sistema de acuíferos, ya que aproximadamente 50% de la precipitación llega hacia ellos (Bojórquez *et al.* 2000) después de infiltrarse en los suelos. La recarga del acuífero de la Ciudad de México proviene principalmente de la sierra de Las Cruces; la infiltración en la sierra de Santa Catarina y Chichinautzin enriquecen el acuífero de Valle de Xochimilco-Tláhuac-Chalco (ubicado en estas mismas delegaciones); finalmente los suelos de la sierra ubicada al oriente de Chicoloapan de Juárez alimentan el acuífero de Lagos de Texcoco (Soto *et al.* 2000).

La sección oriente, que cubre parte de las delegaciones de Cuajimalpa, Magdalena Contreras y Tlalpan, conforma parte del llamado Bosque del Agua, el cual como parteaguas de tres cuencas (cuenca de México, cuenca del río Balsas y cuenca Lerma-Chapala) alimenta a nueve acuíferos que abastecen a 4 182 aprovechamientos de la Ciudad de México (Iniciativa Bosque del Agua 2012) y además provee agua a dos sitios Ramsar (ciénegas de Lerma y Xochimilco).

Sin embargo, la posibilidad de retener e infiltrar agua se ve limitada por el avance de la urbanización, la deforestación y las prácticas agropecuarias no adecuadas que han fomentado la erosión de estos suelos (CORENA s/f).

La diversidad de grupos de fauna en los suelos tienen un fuerte vínculo con las funciones que sustentan los servicios ambientales que éstos proveen (Barrios 2007). Como ejemplo, en los suelos de esta región pueden encontrarse hasta 60 especies de hormigas (21 géneros), entre ellas a *Myrmecocystus melliger, Pogonomyrmex barbatus, Atta mexicana y Monomorium cyaneum* (Rojas 2003). Estos insectos desempeñan un papel muy importante como depredadoras, herbívoras o detritívoras, y participan en los procesos fisicoquímicos del suelo, incluyendo la descomposición y el reciclaje de nutrientes (Brussaard *et al.* 1997).

Con una intensidad distinta, los suelos de parques urbanos, camellones y jardines (agrupados en la región Parque y Jardines Urbanos) también tienen el potencial de filtrar agua hacia los mantos freáticos, retienen contaminantes (de aire y agua), capturan carbono y pueden disminuir el impacto de inundaciones (Cram *et al.* 2008).

Amenazas al suelo

La presencia de una megalópolis, como la Ciudad de México, ejerce una intensa presión sobre los recursos naturales aledaños, entre ellos a los suelos, cuyo funcionamiento proporciona los servicios ambientales que la población requiere. Esta disyuntiva no está claramente identificada ni por la sociedad ni por sus instituciones. De ese modo, el crecimiento urbano no planificado destruye, mediante el sellamiento, servicios ambientales básicos para esta ciudad, como la regulación hidrológica (infiltración, escurrimiento, recarga), lo cual influye en la recurrencia de inundaciones en las planicies; en la regulación del clima (y disminución de los impactos producidos por fenómenos hidrometeorológicos extremos, como lluvias intensas), en el control de la erosión y la retención de sedimentos, para evitar su arrastre hacia la ciudad y la afectación a la infraestructura vial, sin dejar de lado el importante servicio recreativo que otorgan a miles de citadinos.

Diversas actividades afectan directa e indirectamente sobre este componente del ecosistema:

1. La alta demanda de vivienda de la población y la ausencia de una estrategia de planeación regional, de instrumentos jurídicos y administrativos, así como la indefinición de la propiedad de la tierra, han permitido el establecimiento de más de 600 asentamientos humanos, regulares e irregulares sólo en el suelo de conservación (al suroeste de la región Bosques y Cañadas) (Iniciativa Bosque del Agua 2012).
2. La extracción de material no forestal (tierra de monte), que si bien está regulada por la NOM-027-SEMARNAT-1996, ha sobrepasado los límites establecidos, amenazando la integridad de los ecosistemas forestales y el funcionamiento de los suelos (Diario Imagen 2010).
3. La extracción de musgo está regulada por la NOM-011-SEMARNAT-1996, pero durante la temporada navideña, la intensidad de extracción incrementa, lo que disminuye la protección que esta especie ejerce sobre los suelos e indirectamente merma su capacidad de retención de humedad.
4. Las carreteras que atraviesan esta región ocasionan una gran pérdida de conectividad de la vegetación, afectando la integridad de sus suelos y, a demás, el movimiento de material (Iniciativa Bosque del Agua 2012). A este impacto hay que sumarle futuros proyectos de carreteras que atravesarán áreas del suelo de conservación e impactarán en los relictos de bosque mesófilo, lo que ocasionará procesos de degradación de suelos y un detrimento de los servicios ambientales que requiere la población. Entre algunos de estos proyectos carreteros se encuentran ya aprobados y en construcción la autopista Lerma-Tres Marías, el libramiento norponiente de Cuernavaca, el proyecto carretero Arco Sur, la autopista Toluca-Huixquilucan-Naucalpan y la supervía del Poniente.
5. La deforestación y la degradación de los bosques (por tala fraccionada o por plagas) ha ido reduciendo la cobertura vegetal, lo cual aumenta la susceptibilidad de erosión de los suelos.
6. Las prácticas agropecuarias no sustentables o discordes con el paisaje morfoedafológico disminuyen la posibilidad de retención e infiltración de agua y reducen la capacidad de soporte de la vegetación.

Conclusión

Las principales unidades morfoedafológicas situadas en la Ciudad de México están caracterizadas por distintas condiciones edáficas y geomorfológicas. Desde las cimas de montañas a las llanuras lacustres-acumulativas, el desarrollo de suelos con distintas características ofrece servicios ambientales diversos e importantes para su población. Sin embargo, la forma como se ha venido dando el crecimiento

urbano está ocasionando la destrucción de los ecosistemas y en ellos, de los suelos. De tal manera se está perdiendo la posibilidad de obtener estos servicios, indispensables para la población rural y urbana de la ciudad, y de adaptarse mejor a los riesgos y modificaciones inherentes del cambio climático.

La sustentabilidad de una ciudad depende de las decisiones y acciones dirigidas hacia la conservación de los servicios ambientales circundantes. En la zona urbana, los servicios ambientales de los suelos deben ser internalizados de manera clara y explícita en los programas de política pública, de los distintos niveles gubernamentales (Ciudad de México y delegaciones), de modo que la recuperación de suelos en áreas verdes constituya un objetivo central, que puede estar ligado a incentivos económicos, como pueden ser los bonos de carbono, pagos por servicios ambientales, entre otros.

La degradación de los suelos merma su capacidad de proveer servicios y genera externalidades, con elevados costos (Cotler *et al.* 2011) en términos de incremento de riesgos de inundaciones, reducción de productividad agrosilvopastoril, deslaves, acarreo de sedimentos y residuos sólidos, azolve de presas e infraestructura, degradación de hábitat acuático e incremento de la emisión de gases efecto invernadero (Cotler *et al.* 2007).

Por ello, los servicios ambientales proporcionados por los suelos no deben restringirse a los programas relacionados con áreas verdes, sino que también deben abarcar a los programas relacionados con el manejo de recursos hídricos, de prevención de inundaciones y de calidad de aire.

En síntesis, la estrategia de conservación de los servicios ambientales proporcionados por los suelos tiene que ser concebida de una manera integral y coordinada y su atención requiere una visión territorial con enfoque de cuenca en todos los instrumentos de planeación.

Recomendaciones

La Ciudad de México cuenta con una Estrategia Institucional de Plan Verde (Gobierno del Distrito Federal, 2010), la cual necesita ser fortalecida y articulada. Primero, extendiendo la zona de interés más allá del Suelo de conservación, al reconocer que los servicios ambientales proporcionados por los suelos de las otras regiones (Bosques y Cañadas, Sierra de Santa Catarina, Sierra de Guadalupe, Parques y Jardines Urbanos y las Serranías de Xochimilco y Milpa Alta) también son importantes y que requieren acciones particulares. En ellas el reforzamiento de la normatividad y de su cumplimiento es primordial. Segundo, las recomendaciones dirigidas hacia comunidades o ejidos tienen que incorporar necesariamente la voz y el compromiso de sus propietarios. Para ello se tienen que incorporar a las discusiones aquellas instituciones locales representativas que generalmente se encuentran al margen de la elaboración de proyectos y programas.

Referencias

Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and landproductivity. *Ecological Economics* 64:269-285

Bojórquez, L., E. Ezcurra, H.M. Mazari, *et al.* 2000. Basin of Mexico: a history of watershed mismanagement. Pp. 129-137. En: *Land stewardship in the 21st century: the contributions of watershed management*. Tucson, Arizona.

Brady, C.N. y R.R. Weil. 1999. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall.

Brussaard, L., V.M. Behan-Pelletier, D. Bignell, *et al.* 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26 (8):563-570.

Cervantes, F.J. y G. Alfaro. 2000. Características de los suelo. Pp. 47-53. En: *La Ciudad de México en el fin del milenio*. G. Garza (coord.). Gobierno del Distrito Federal (GDF)/El Colegio de México (COLMEX), México.

CORENA. Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría de Medio Ambiente. S/f. El suelo de conservación del Distrito Federal. En: *<http://www.sma.df.gob.mx/snidrus/med_amb/corena/ind_erosion_suelo.html>*, última consulta: diciembre 2011.

Cotler, H. y C. Siebe. 2000. Suelos y medio ambiente. Pp. 469-474. En: *La Ciudad de México en el fin del milenio*. G. Garza (coord.). GDF/COLMEX. México.

Cotler, H., A. Priego y E. Isunza. 2002. Mapa morfoedafológico del Distrito Federal. Pp. 9-25. En: *Programa de manejo integral del suelo. Informe técnico final*. M. Mazari, S. Cram y F. Rojo (eds.)., UNAM/Gobierno del Distrito Federal-Comisión Ambiental Metropolitana. México.

Cotler, H., E. Sotelo, J. Dominguez, *et al*. 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* 83:71.

Cotler, H., C.A. López y S. Trinidad. 2011. ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Revista de Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública* 3(2):31-43.

Cram, S., H. Cotler, L.M. Morales, *et al*. 2008. Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas* 66:81-104.

Diario Imagen. 2010. Probosque incrementa vigilancia para evitar la extracción de tierra de monte. En: *<http://www.diarioimagen.net/?p=20534>*, última consulta: enero 2012.

Ezcurra, E., M. Mazari, I. Pisanty y G.A. Aguilar. 2006. *La cuenca de México*. FCE.

FAO-ISRIC-ISSS. 1998. *World Reference Base for Soil Resource*. 84 World Soil Res. Report, Roma.

Geissert, D. y J.P. Rossignol. 1987. *La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos/Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), México.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2011. Estrategia Institucional del Plan Verde. En: *<http://www.sma.df.gob.mx/planverde/images/descargas/plan_verde_junio2011.pdf>*, última consulta: 23 de enero 2012.

Huinink, J.M. 1998. Soil quality requirements for use in urban environments. En: *Soil and Tillage Research* 47:157-162.

Iniciativa Bosque del Agua. En *<http://iniciativabosquedeagua.wordpress.com/2011/10/07/iniciativa-bosque-de-agua>*, última consulta: enero 2012.

Jáuregui, E. 2000. Clima. Pp. 69-76. En: *La Ciudad de México en el fin del Segundo Milenio*. G. Garza (coord.). COLMEX/GDF, México.

Lal, R. 1999. Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use.pp 45-55. En: *World Soils Resources Reports 86. Prevention of Land Degradation, Enhancement of Carbon Sequestration and Conservation of Biodiversity through Land Use Change and Sustainable Land Management with a Focus on Latin America and the Caribbean. Proceedings of an* IFAD/FAO *Expert Consultation*. IFAD. Roma.

Lugo, J. 1984. Geomorfología del sur de la cuenca de México. *Serie Varia* IG/UNAM 1(8).

Rojas, F.P. 2003. El papel de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en la dinámica edáfica. Pp. 197-216. En: *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. J. Alvarez-Sánchez y E. Naranjo García (eds). Instituto de Ecología, A.C. (INECOL)/Instituto de Biología-UNAM (IB-UNAM)/Facultad de Ciencias-UNAM (FC-UNAM). México.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-027-SEMARNAT-1996. Publicada el 5 de junio de 1996 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma 23 de abril de 1993.

——. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-011-SEMARNAT-1996. Publicada el 26 de junio de 1996 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Sombroek, W.G., F.O. Nachtergaele y A. Hebel. 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio* 12(7):417-426.

Soto, G.E., M. Mazari y L. Bojórquez. 2000. Entidades de la zona metropolitana de la Ciudad de México propensas a la contaminación de agua subterránea. *Investigaciones Geográficas* 43:60-75.

Consecuencias de la actividad volcánica del Xitle y el disturbio antrópico sobre las propiedades del suelo y la diversidad vegetal del Parque Ecológico de la Ciudad de México en el Ajusco medio

Christina Desiree Siebe Grabach
Pedro Eloy Mendoza Hernández
Sonia María Juárez Orozco
Lorenzo Vázquez Selem
Silke Cram Heydrich

Introducción

Las erupciones volcánicas producen disturbios de gran magnitud en su entorno. Los flujos de lava y los depósitos de cenizas sepultan los suelos anteriormente formados en el paisaje y destruyen o afectan severamente la cubierta vegetal como consecuencia de los incendios provocados por el contacto directo o la lluvia ácida ocasionada por los gases de dióxido de azufre (Eggler 1963, Johnson y Parnell 1986, Martínez *et al.* 2000). La pérdida de la cobertura vegetal facilita los procesos de erosión, ya que permite que la lluvia arrastre hacia las partes bajas o depresiones del terreno, materiales procedentes tanto de los depósitos de la erupción como de los suelos de las antiguas superficies que no fueron afectadas por los nuevos depósitos. Cuando la actividad volcánica y la erosión severa asociada cesan, se inicia una nueva colonización vegetal junto con una compleja dinámica de formación de suelo (Segerstrom 1966).

El suelo es un sistema complejo que requiere de siglos a milenios para su formación. Entre los factores que intervienen están el origen del material parental (roca madre), la topografía del terreno, el clima de la región y las comunidades vegetales. En los derrames de lava y los depósitos de cenizas volcánicas y suelos erosionados, la colonización vegetal será relativamente rápida si en los alrededores del área afectada existen fuentes de dispersión de propágulos, semillas y dispersores potenciales que los muevan (Fenner 1983, Thompson *et al.* 1993, Del Moral *et al.* 2007). Al proceso de colonización con nuevas especies a través del tiempo y el espacio se le conoce como sucesión primaria; este fenómeno es común en los derrames de lava y los depósitos de ceniza erosionada (Cano-Santana y Meave 1996, Kilian *et al.* 2006, Peña-Ramírez *et al.* 2009, Long *et al.* 2011). A los primeros colonizadores se les conoce como pioneros, éstos con su presencia permitirán que se acumule la materia orgánica, se fracture la roca y haya condiciones distintas de temperatura y humedad que promuevan la formación de nuevo suelo. Esta última ocurre a tasas distintas y de forma diferenciada en el terreno, en función de los factores formadores de suelo, por lo que se crean sitios con una oferta diversa de condiciones que proporcionan a los organismos colonizadores espacios adecuados para el desarrollo de raíces y proveerlos con el agua, aire y nutrientes que requieren para su desarrollo. Los sitios con una mejor calidad servirán de base para que otras especies menos tolerantes arriben al lugar. En consecuencia, las comunidades vegetales estarán dominadas por las especies mejor adaptadas a las nuevas condiciones de calidad de sitio definida por la profundidad, pedregosidad, contenido de materia orgánica, agregación, cantidad y distribución del tamaño de poros, entre otras características (Schlichting 1986).

Siebe, C., P.E. Mendoza-Hernández, S.M. Juárez-Orozco, L. Vázquez-Selem y S. Cram. 2016. Consecuencias de la actividad volcánica del Xitle y el disturbio antrópico sobre las propiedades del suelo y la diversidad vegetal del Parque Ecológico de la Ciudad de México en el Ajusco medio. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, Mexico, pp. 75-91.

En México se han documentado patrones de cambio en la diversidad vegetal después los eventos volcánicos del Xitle hace 1600 años, y del Paricutín cuya erupción ocurrió entre 1943 y 1952 (Rzedowski 1954, Cano-Santana y Meave 1996, Gómez-Romero *et al.* 2006).

Otro factor importante que modifica la formación de suelo y el reemplazo de las comunidades vegetales es el disturbio humano. En función de la intensidad y duración del mismo se modificarán tanto la composición como la estructura y la funcionalidad del ecosistema, tal como ocurrió en una parte del derrame de lava del Xitle (Mendoza-Hernández *et al.* 2013). La diversidad vegetal del área cubierta por este derrame fue descrita a detalle por Rzedowski (1954), quien reconoció dos asociaciones vegetales dominantes: el matorral xerófilo y el bosque entre los 2 350 y 2 900 msnm. Dentro de este gradiente altitudinal existe un área que actualmente ocupa el Parque Ecológico de la Ciudad de México (PECM), con un mosaico de sitios en distintas fases de reemplazo de las comunidades vegetales y características edáficas que son consecuencia de la erupción del Xitle y el efecto de un asentamiento urbano irregular que fue desmantelado en 1989. Las condiciones de la vegetación en el PECM son un ejemplo de cómo la erupción del Xitle afectó en forma diferenciada la capacidad del suelo de soportar una cubierta vegetal y cómo el disturbio antrópico también afectó la diversidad de plantas en la zona media de la sierra del Ajusco.

En este trabajo se presentan datos de propiedades del suelo de distintas unidades de terreno, así como de la estructura y la riqueza de las comunidades vegetales, en especial datos estructurales y florísticos de sitios que fueron diferencialmente impactados por un asentamiento urbano irregular localizado en el PECM (Cano-Santana *et al.* 2006). Con el análisis de la información se discute el manejo diferenciado que se les debe dar a las unidades de terreno en función de sus atributos y capacidades de calidad de sitio.

Zona de estudio: Parque Ecológico de la Ciudad de México

El PECM es un área natural protegida ubicada en la porción norte de la delegación Tlalpan, entre las coordenadas extremas 19° 16' 23.12", 19° 14' 37.04" N y 99° 14' 35.58", 99° 10' 31.85" O, a una altitud entre los 2 375 y 2 875 msnm (figura 1). Abarca tres polígonos: uno de 721 ha (donde se llevó a cabo este estudio) y dos más de 42 y 61 ha (Cano-Santana *et al.* 2006). El tipo de clima es templado húmedo, la temperatura media anual es de 11.1° C y la precipitación promedio anual es de 1 100 mm. Los datos de precipitación y evaporación media mensual registradas en la estación Ajusco Tlalpan, ubicada a 2 839 msnm para el periodo 1971-2000 (Servicio Meteorológico Nacional, *http://smn.cna.gob.mx/)*, indican que existe un déficit hídrico en los meses de noviembre a mayo, cuando la evaporación es mayor a la precipitación.

El parque se ubica en la región septentrional del campo volcánico sierra del Chichinautzin, el cual pertenece a la Faja Volcánica Transmexicana. Este campo volcánico se caracteriza por presentar más de 200 conos volcánicos monogenéticos, es decir que se produjeron cada uno de ellos durante un único evento eruptivo. Los más antiguos datan de hace 0.73 y 0.79 millones de años (Pleistoceno; Urrutia-Fucugauchi y Martin Del Pozzo 1993), mientras que el más joven corresponde al volcán Xitle. Su erupción fechada en 1 670 (±35 años) antes del presente (Siebe 2000), afectó de manera significativa el paisaje natural del sur de la cuenca de México (Córdova *et al.* 1994). Esta edad se reporta a partir de residuos vegetales carbonizados encontrados en el contacto inferior de la lava y la superficie del suelo previa al emplazamiento de la misma, por lo cual se asume que este fechamiento es el que mejor corresponde con la erupción. Existen varias publicaciones que reportan la edad del Xitle, pero en todas ellas, el material fechado es de edad anterior

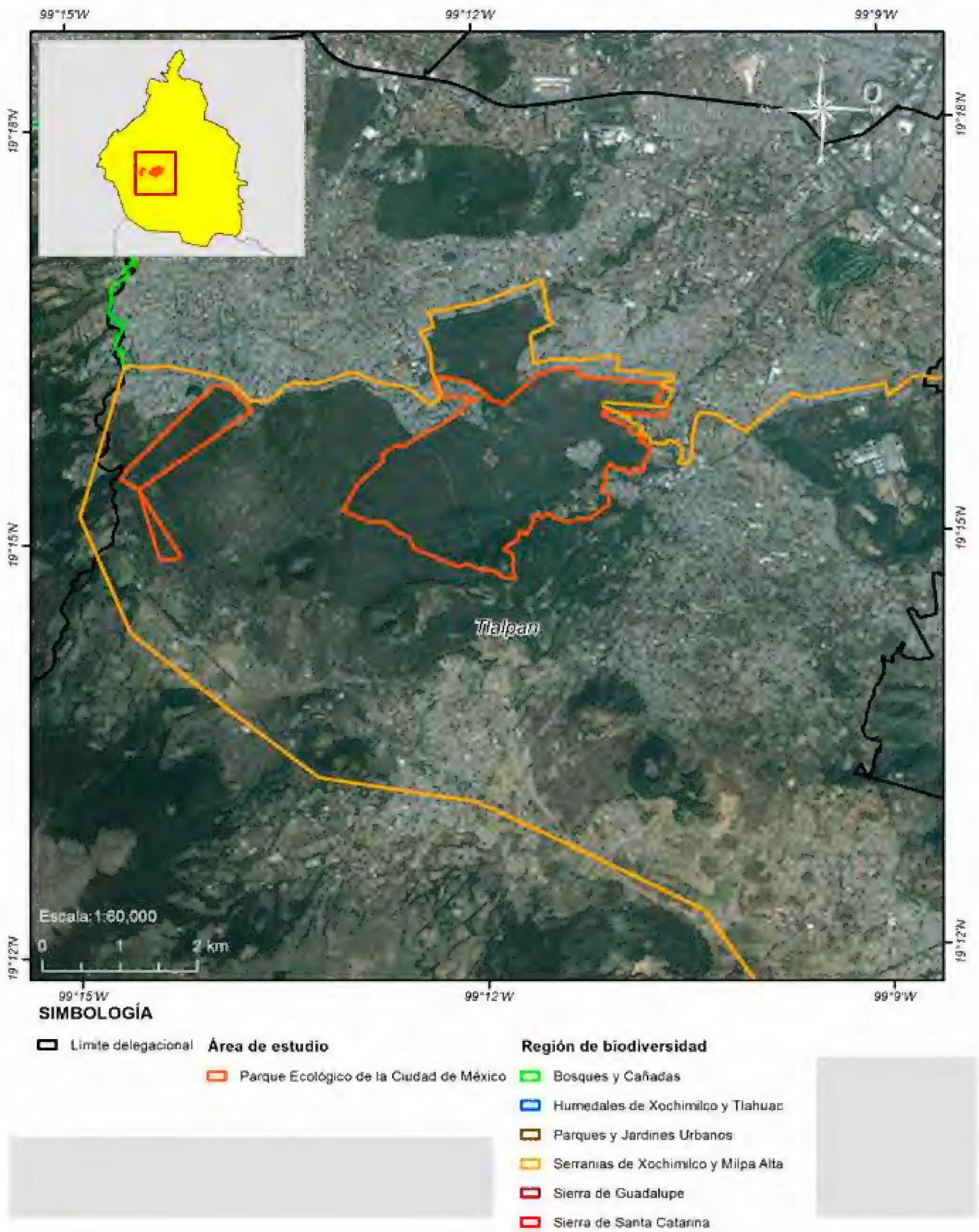


Figura 1. Ubicación del Parque Ecológico de la Ciudad de México en la parte media de la Sierra del Ajusco. En naranja se muestran los límites de los tres polígonos que configuran al parque. Fuente: elaboración propia con datos proporcionados por la administración del PECM en 2008.

(materia orgánica del suelo preexistente, restos arqueológicos diversos, etc.).

El parque se ubica predominantemente sobre la parte alta a media de los siete derrames lávicos que produjo este cono volcánico y que son la formación más reciente del llamado Grupo Chichinatuzin (Delgado *et al.* 1998, figura 1). Sin embargo, también abarca lomeríos con pendientes de entre 24 y hasta 30° formados por lavas de la Formación Ajusco del Pleistoceno temprano o medio (Delgado *et al.* 1998).

Estas lavas son de composición dacítica, tienen coloraciones claras y contienen más minerales ricos en sílice y menos minerales ricos en hierro y magnesio (también llamados ferromagnesianos), mientras que las lavas del Xitle son de composición basáltico-andesítica, de coloración gris obscura y con abundantes minerales ferromagnesianos. Las lavas del Xitle rodearon varias de las protuberancias de esta formación más antigua. Algunos de estos lomeríos se encuentran dentro del área del parque y están formados por grandes bloques de lava dacítica de la Formación Ajusco, los cuales están a su vez cubiertos por un suelo formado a partir de cenizas volcánicas. A partir del grado de desarrollo de este suelo, se deduce que estas cenizas deben tener una edad de al menos 8 000 años (Peña-Ramírez *et al.* 2009). Existen otros lomeríos similares ladera abajo y fuera del área del parque, como por ejemplo el cerro Zacatépetl.

En el extremo oriental del parque afloran lavas del Grupo Chichinautzin anteriores al Xitle, que no alcanzaron a ser cubiertas por las lavas de dicho volcán. Se trata de pequeñas áreas del basalto San Pedro Mártir del Pleistoceno medio y del basalto de olivino de la Formación Yololica del Holoceno temprano (Delgado *et al.* 1998), compuestas por lavas cubiertas por varios decímetros de cenizas.

Además, en la zona de contacto entre la lava del Xitle y las geoformas que no fueron cubiertas por ésta, se acumuló material arrastrado por efecto de la gravedad así como por la escorrentía de agua pluvial desde las laderas, al parecer poco tiempo después del emplazamiento de la lava. Estos materiales coluvio-aluviales están formados por cenizas volcánicas, producidas también durante la erupción del Xitle, que fueron erosionadas junto con el suelo preexistente en terrenos ladera arriba. Quedaron represados en el espacio entre las geoformas preexistentes y el borde de los derrames lávicos del Xitle y, por efecto del relleno, formaron terrenos planos o ligeramente inclinados, con pendientes menores a 6°.

Método de estudio

Para describir el patrón de distribución de suelos en las unidades de terreno se procedió a realizar observaciones puntuales con barrenas y a excavar calicatas o pozos en diferentes ubicaciones dentro del parque, en función de las diferencias en pendiente, cobertura o grado de disturbio. La descripción del suelo se hizo según Siebe *et al.* (1996) y se colectaron muestras de suelo por horizonte genético, tanto volumétricas (cilindros de 100 cm^3) como gravimétricas. Éstas se analizaron en laboratorio siguiendo procedimientos estandarizados (van Reeuwijk 1995). Finalmente se procedió a evaluar la calidad de sitio con base en los datos de campo y laboratorio, de acuerdo con Siebe *et al.* (1996). Los suelos descritos fueron clasificados de acuerdo con la clasificación según la Base Referencial Mundial de Recursos de Suelo (por sus siglas en inglés; WRB 2006).

En cuanto a la vegetación, se planteó la interrogante de que si después de 20 años del desmantelamiento del asentamiento urbano irregular, aún eran evidentes los efectos del disturbio antrópico sobre diferentes atributos de las comunidades vegetales. Para resolver dicha cuestión, se usó el mapa de unidades de relieve e información de la descripción de los suelos dominantes en el parque.

Además, se utilizaron cincuenta puntos de verificación distribuidos en el terreno para describir la vegetación que actualmente cubre el parque. Se propuso una medición más

puntual de las unidades de terreno debido a que el disturbio antrópico modificó, de forma diferencial la cobertura vegetal en aproximadamente 200 ha del derrame lávico del Xitle. Veinticinco por ciento del terreno se modificó con maquinaria pesada, estos sitios se nombrarán de aquí en adelante como de disturbio alto (DA). Setenta por ciento del terreno fue alterado sólo con el uso de herramientas manuales, los sitios incluidos aquí se consideran como de disturbio medio (DM). En el resto del terreno, que fue alterado de forma indirecta con actividades de bajo impacto como recolección de leña y plantas medicinales, se encuentran los sitios con disturbio bajo (DB). En cada nivel de disturbio se seleccionaron 10 sitios de 160 m^2 para registrar la densidad de individuos, la identidad taxonómica, la forma de vida (tamaños y formas de las plantas), la altura, el área basal (superficie del suelo ocupada por el tallo) y la cobertura de las especies arbustivas y arbóreas, de acuerdo con Mendoza-Hernández *et al.* (2013).

La sobreposición de la información de la vegetación y de las unidades geomorfológicas o del terreno sirvió para identificar los polígonos de interés (cuadro 1). La digitalización de los mapas se llevó a cabo con la fotointerpretación de un mosaico de fotografías aéreas ortorrectificadas del año 2008, escala 1:250 000, proporcionadas por la administración del parque con el programa ArcGis (v. 10). Por último, se actualizó el mapa de vegetación del polígono más grande, con base en los tipos de vegetación identificados en el trabajo de González-Hidalgo *et al.* (2001).

Delimitación de las unidades de terreno del PECM

Con base en la información presentada anteriormente, en el PECM se delimitaron las siguientes unidades de terreno (figura 2):

1. Lavas del Xitle: 551 ha
2. Lomeríos de lavas dacíticas de la Formación Ajusco. Se distinguieron dentro de éstos a las zonas con pendiente fuerte y las de pendiente suave, ya que presentaban diferentes coberturas vegetales: 47.3 ha
3. Lavas basálticas del Grupo Chichinautzin de edad pre-Xitle: 8.5 ha
4. Pie de ladera coluvial (rellenos coluvio-aluviales): 11.2 ha
5. Rellenos artificiales y asentamientos humanos abandonados o en uso: 34.5 ha

Las lavas del Xitle abarcan la mayor superficie del parque (84%), mientras que los pies de ladera conformados por rellenos, producto de los procesos de erosión severa ocurrida poco tiempo después de la erupción, sólo conforman 1.7% del parque. Los terrenos que no fueron afectados por depósitos de lava ni por ceniza del Xitle, y que por lo tanto son relictos del relieve existente previo a la erupción del Xitle, abarcan 8.6% de la superficie del parque.

Propiedades del suelo en las unidades de terreno

Con base en las exploraciones realizadas se encontraron tres unidades de suelo con propiedades contrastantes dentro del parque:

1. Suelos someros y muy pedregosos formados sobre los derrames lávicos del Xitle. La cobertura vegetal en el sitio corresponde a matorral xerófilo (figuras 3 y 4).
2. Suelos formados a partir de las cenizas volcánicas producidas durante la erupción del Xitle y que fueron erosionadas junto con el suelo preexistente en terrenos ladera arriba, es decir, los depósitos coluviales de los pies de ladera y que cubren también las zonas de lomerío de dacita que tienen pendientes suaves. Sus espesores varían entre 50 y más de 100 cm; no muestran aún desarrollo significativo de suelo detectable a través de una diferenciación en horizontes genéticos, es decir, que el suelo presente capas o estratos con propiedades adquiridas o bien, por la incorporación de materia orgánica humi-

Cuadro 1. Superficie en hectáreas y porcentaje (entre paréntesis) de las unidades de terreno y de los tipos de cobertura del Parque Ecológico de la Ciudad de México.

		Tipo de cobertura hectáreas (%)							
Unidad de terreno	Unidad de suelo	Agrícola	Bosque de encino	Matorral de Sedum	Matorral xerófilo	Pastizal	Urbano	Zacatonal	Total
Lavas del Xitle	Leptosol lítico	1.6 (0.3)	262.1 (40.2)	8.2 (1.3)	228 (34.9)	0.8 (0.1)	47.3 (7.3)	3 (0.5)	551 (84.6)
Lomeríos de lavas dacíiticas con pendiente fuerte	Andosol silándi-mólico	<0.1 (<0.1)	42.6 (6.5)	<0.1 (<0.1)	0.2 (<0.1)	0.5 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	43.2 (6.6)
Lavas basálticas del grupo Chichinatuzin		0.05 (<0.1)	4.38 (0.7)	<0.1 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	0.7 (0.1)	1.94 (0.3)	1.5 (0.2)	8.5 (1.3)
Pie de ladera coluvial	Andosol vítrico	6.1 (0.9)	3.5 (0.5)	<0.1 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	2.2 0.2	<0.1 (<0.1)	11.2 (1.7)
Lomeríos de lavas dacíticas con pendiente suave		<0.1 (<0.1)	1.4 (0.2)	<0.1 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	0.1 (<0.1)	<0.1 (<0.1)	2.73 (0.4)	4.25 (0.7)
Rellenos artificiales	Tecnosoles	<0.1 (<0.1)	1.2 (0.2)	<0.1 (<0.1)	26.2 (4)	<0.1 (<0.1)	7.1 (1.1)	<0.1 (<0.1)	34.5 (5.3)
Total		7.8 (1.2)	315.2 (48.3)	8.2 (1.3)	254.3 (39)	3.6 (0.6)	56.4 (8.6)	7.2 (1.1)	652.7 (100)

Fuente: elaboración propia.

ficada en superficie (horizontes Ah) o que muestren la formación de nuevos minerales a partir de los materiales del depósito original (horizontes Bw). Estos suelos más bien presentan aún las características del material de arrastre, el cual sepulta suelos con mayor grado de desarrollo. Estos suelos enterrados muestran una diferenciación clara de horizontes Ah y Bw, lo cual denota que tienen una edad varios miles de años mayor a la erupción del Xitle. La cobertura vegetal en el sitio de descripción corresponde a un zacatonal (figuras 5 y 6).

3. Suelos con una clara diferenciación de horizontes Ah y Bw formados a partir de cenizas volcánicas de caída de edad pre-Xitle. Estos suelos se encuentran tanto en los lomeríos de dacita con pendientes fuertes, como cubriendo las lavas del Grupo Chichinautzin que afloran en la porción extrema oriental del polígono principal del parque. La cobertura vegetal en el sitio de descripción es de bosque de encino maduro (figuras 7 y 8).

Características edafoecológicas de sitio

En el cuadro 2 se muestran en forma comparativa las principales propiedades de las tres unidades de suelo descritas que definen su capacidad de sostener una cubierta vegetal. Se seleccionaron aquellas propiedades del suelo que son indicadoras de la capacidad de proporcionar un espacio para el desarrollo de las raíces (profundidad fisiológica), así como de abastecer de aire, agua y nutrientes a la planta con base en los datos de campo y laboratorio presentados en los cuadros del apéndice 1. Se incluyeron además el drenaje natural y la conductividad hidráulica, las cuales proporcionan información sobre la factibilidad de que en algún momento durante el año ocurran

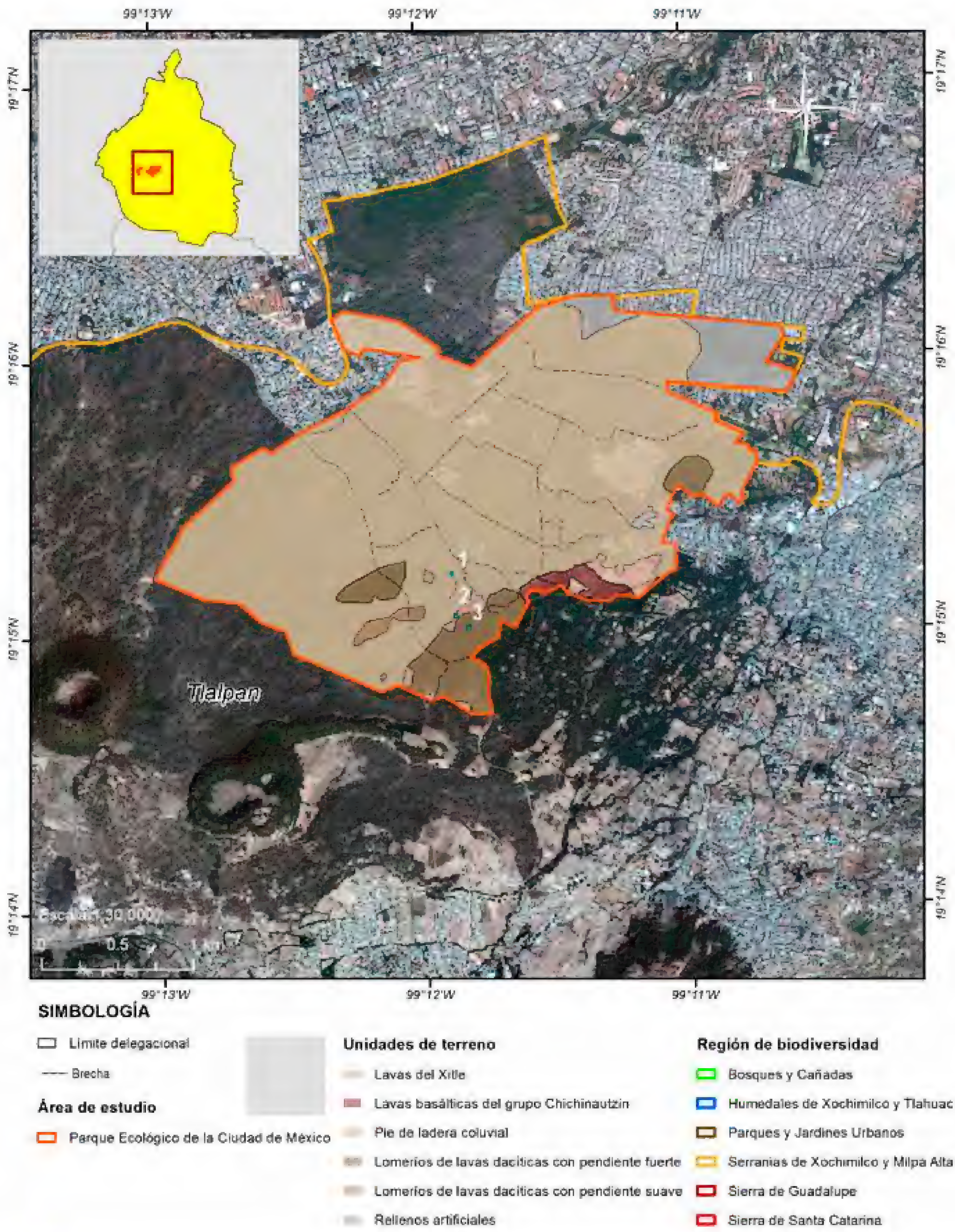


Figura 2. Unidades fisiográficas o de terreno del polígono principal del PECM. Los puntos numerados corresponden a los perfiles de suelo descritos y muestreados en este estudio. Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Perfil 1, correspondiente a la unidad de terreno de derrame lávico del Xitle, clasificado como Leptosol nudilítico, hiperesquelético (téfrico, dístrico). Foto: Elizabeth Chávez García.

Figura 3. Aspecto de la cobertura en el sitio del perfil 1. Foto: Christina Siebe.

Figura 5. Cobertura de zacatonal en el sitio de descripción del perfil tipo 2 (pie de ladera coluvial). Foto: Christina Siebe.

Figura 6. Perfil 2, característico de la unidad de terreno pie de ladera coluvial, clasificado como Andosol vítrico (éutrico). Foto: Christina Siebe.

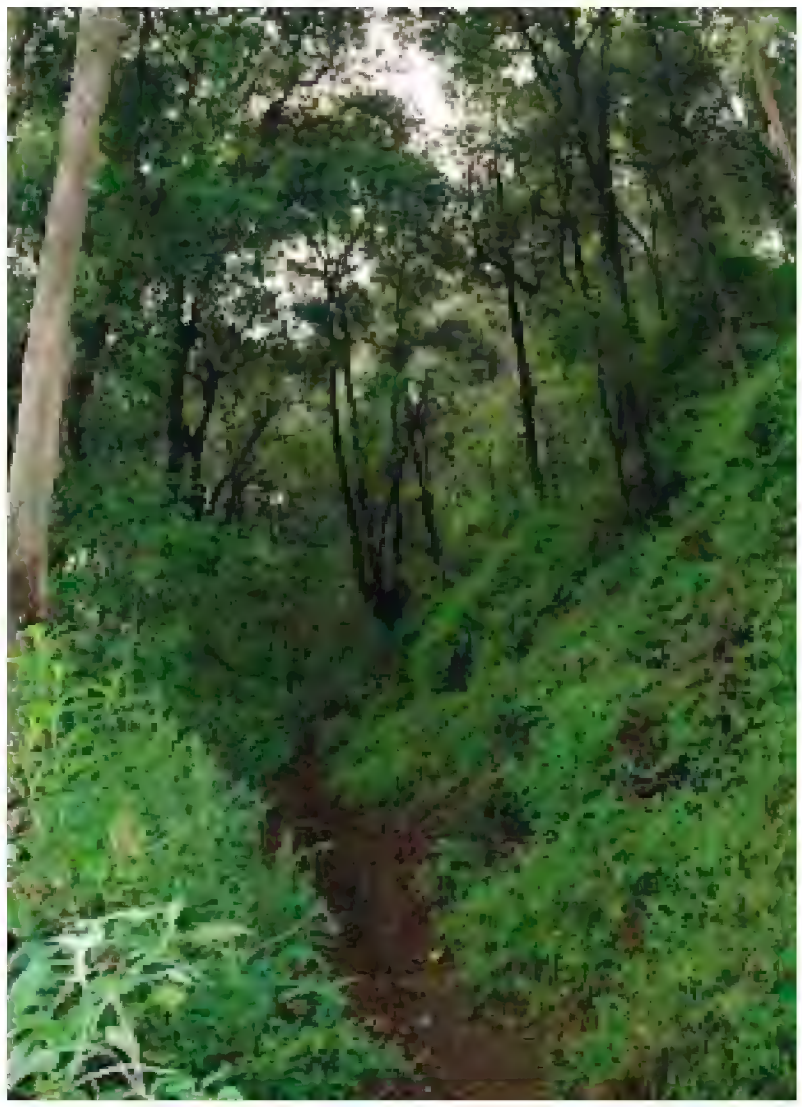


Figura 7. Cobertura en el sitio de descripción del perfil 3, que corresponde a lomeríos de lava dacítica con pendiente fuerte. Foto: Christina Siebe.

Figura 8. Perfil 3, en lomeríos de lava dacítica con pendiente fuerte, que clasificó como Andosol silándico, fólico, mólico (éutrico, síltico). Foto: Christina Siebe.

condiciones de saturación de agua y con ello haya un déficit de oxígeno para el adecuado desarrollo de las raíces.

Las mejores condiciones de soporte para las plantas se presentan en la unidad de suelo 2 (Andosol vítrico, figura 6), que es característico de los rellenos coluvioaluviales. Estos sitios son profundos, están bien aireados y drenados, y tienen la mayor capacidad de retención de agua, tanto total como aprovechable. Esta cualidad es de suma importancia, considerando el déficit hídrico de varios meses que se presenta entre noviembre y mayo. Este suelo tiene una importante reserva de nitrógeno, proveniente del contenido mediano de materia orgánica heredado de los sedimentos coluvio aluviales y también contiene suficientes nutrimentos como calcio, magnesio y potasio en forma aprovechable para las plantas. Su única limitante parece ser una moderada disponibilidad de fósforo.

En comparación los suelos localizados sobre los lomeríos de lava dacítica (unidad de suelo 3, Andosol silándico, fólico, mólico, figura 8) son de profundidad mediana, limitada por las abundantes piedras a partir de los 52 cm. Lo anterior restringe no sólo el desarrollo de raíces, sino también la capacidad de retención de agua, de manera que en estos sitios sólo se puede almacenar un poco más de la mitad del agua que puede llegar a retener el suelo en los rellenos coluvioaluviales. Adicionalmente en estos suelos aumenta la capacidad de inmovilizar fósforo, es decir, que se puede esperar que este elemento deje de estar disponible para la planta, lo que hace que sea aún más limitante en estos suelos que en los de los rellenos coluvio-aluviales.

Para caracterizar las condiciones prevalecientes sobre el derrame lávico del Xitle (unidad de suelo 1, Leptosol nudilítico, hiperesquelético, figura 4), se consideraron dos condiciones extremas: suelos de profundida-

des menores a 10 cm y suelos de hasta 40 cm de espesor. En ambos casos se destacan las limitaciones severas en cuanto a la capacidad de retención de agua, que es muy baja en comparación con los otros dos tipos de suelos. De igual forma resalta la limitada provisión tanto de nitrógeno como de bases intercambiables (calcio, magnesio y potasio), mientas que en estos sitios la disponibilidad de fósforo es buena.

Mapa de vegetación y unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas, el disturbio antrópico y los tipos de cobertura vegetal están muy relacionados (cuadro 1). En general, el matorral xerófilo está incluido en la unidad de lavas del Xitle, al igual que el matorral de Sedum; mientras que el zacatonal está claramente vinculado con los pies de ladera coluviales. El bosque de encino está asociado a las unidades de terreno pre-Xitle, aunque también existen fragmentos de bosque e individuos aislados en algunos terrenos del derrame lávico del Xitle (figura 9 y cuadro 3).

Atributos estructurales de la vegetación en distintos niveles de disturbio

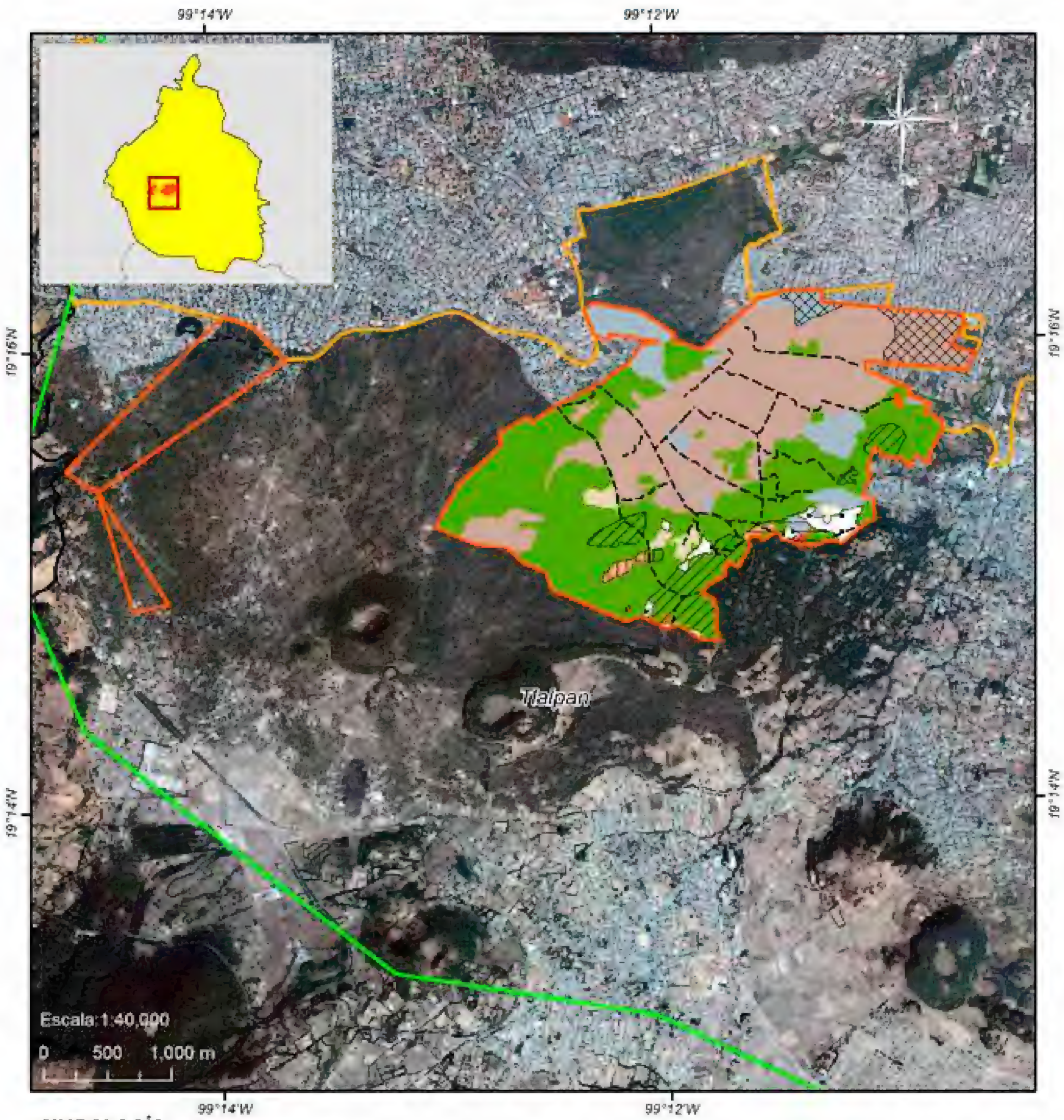
El análisis de los datos contenidos en los cuadros 3 y 4 hace evidente que el disturbio humano redujo la diversidad y la biomasa vegetal, es decir, eliminó o redujo drásticamente la cobertura vegetal, además de alterar los atributos estructurales de las comunidades, por ejemplo la altura de los individuos, la amplitud de la cobertura de sus copas, así como el grosor de sus tallos.

La recuperación natural de la diversidad y los atributos de la estructura vegetal mencionados ha sido lenta, irregular y negativamente influenciada por el disturbio urbano (cuadro VII, apéndice 2). A partir de la medición de atributos como la densidad de individuos, el área basal y la cobertura total (la suma de las áreas de copa para los individuos de una misma especie en los 10 sitios), se reconocieron distintas especies con gran importancia estructural en los distintos niveles de disturbio (cuadro VII, apéndice 2). Cabe resaltar que *Agave salmiana* (maguey), *Ageratina*

Cuadro 2. Características edafoecológicas de las tres unidades de suelo contrastantes representativas de las unidades de terreno identificadas en el parque. Los colores indican la evaluación de la capacidad del suelo de sostener una cubierta vegetal, siendo ésta: verde oscuro-muy buena, verde-buena, amarilla-mediana, naranja-moderada a baja, roja-baja.

Atributos del suelo	Perfil 1 Leptosol lítico	Perfil 2 Andosol vítrico	Perfil 3 Andosol silandi-mólico
Profundidad fisiológica (cm)	10-40	>120	53
Capacidad de aireación (%vol)	17	10.5	12
Capacidad de retención de agua aprovechable (L m^{-2})	8-33	232	153
Capacidad de retención de agua a capacidad de campo (L m^{-2})	12-50	484	269
Drenaje natural	Excesivo	Bueno	Bueno
Conductividad hidráulica en superficie (cm/día)	>300	100	40-100
Acumulación de materia orgánica (kg m^{-2})	1.3-5	49	28
Reserva de nitrógeno (kg m^{-2})	0.06-0.27	1.47	0.93
Bases intercambiables (mol m^{-2})	1-4	85	54
Fósforo disponible en superficie (mg kg-1)	16	2.1	5.2
Capacidad de fijación de fósforo en superficie (%)	16	64	62

Fuente: elaboración propia.



SIMBOLOGÍA

- Límite delegacional
- brechas

Área de estudio

- Parque Ecológico de la Ciudad de México

Cobertura de terreno

- Agrícola
- Matorral Xerófilo
- Matorral de Sedum
- Zacatonal
- Pastizal
- Bosque de Encino
- Urbano

Unidades de relieve

- Lavas del Xitle
- Lavas del grupo Chichinautzin
- Lomeríos de dacita con pendiente elevada
- Lomeríos de dacita con pendiente moderada
- Pie de ladera coluvial
- Rellenos artificiales

Región de biodiversidad

- Bosques y Cañadas
- Humedales de Xochimilco y Tláhuac
- Parques y Jardines Urbanos
- Serranías de Xochimilco y Milpa Alta
- Sierra de Guadalupe
- Sierra de Santa Catarina

Figura 9. Mapa geomorfológico y de vegetación del PECM. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Comunidades vegetales identificadas en el Parque Ecológico de la Ciudad de México.

Tipo de vegetación	Características del dosel	Especies dominantes	Especies asociadas	Unidad de terreno
Bosque de encino	Estrato arbóreo denso, con copas superpuestas y apertura del dosel entre 30 y 60 %	Encinos (*Quercus laurina, Q. crassipes* y *Q. rugosa*)	Alamo (*Alnus acuminata*), jaboncillo (*Clethra mexicana*), pino (*Pinus teocote*)	Lavas pre Xitle y derrame lávico del Xitle
Matorral xerófilo	Escaso estrato arbóreo. Arbustivo abierto irregular.	Trompetilla (*Bouvardia tenufolia*), maguey (*Agave salmiana*), nopales (*Opuntia* spp.), palo loco (*Senecio praecox*), dalias (*Dahlia* spp.)	Encino (*Quercus rugosa*), tepozán (*Buddleja cordata*), chapulixtle (*Dodonaea viscosa*), mirto (*Salvia mexicana*)	Derrame lávico del Xitle
Matorral de Sedum	Estrato arbustivo, denso en parches con individuos de una sola especie	Siempre viva (*Sedum oxypetalum*)	Maguey (*Agave salmiana*), zanahoria silvestre (*Arracacia tolucencis*), dalias (*Dahlia* spp.), nopales (*Opuntia* spp.), Jarrito (*Penstemon roseus*), varita (*Verbesina virgata*)	Derrame lávico del Xitle
Zacatonal	Estrato amacollado	Zacatón (*Muhlenbergia robusta*), zacate (*M. rígida*)	Pastos (*Festuca* spp.), escobetilla (*Poa* spp.)	Depósitos coluviales
Zonas agrícolas y pastizales	Ausente	Maíz (*Zea mays*), rosa (*Rosa* spp.)	En barbecho pastos amacollados	Depósitos coluviales

Fuente: elaboración propia.

glabrata (jarilla), *Buddleja cordata* (tepozán), *Sedum oxypetalum* (siempre viva) y *Senecio praecox* (palo loco) formaron un grupo de especies estructuralmente importantes ya que se encuentran en los tres niveles de disturbio. En cambio, *Dahlia* spp. (dalias) y *Muhlembergia robusta* (zacatón) nunca se encontraron en los sitios de disturbio bajo (DB). Algunas especies como *Fuchsia microphylla* (aretillo), *Prunus serótina* (tejocote) y *Salvia mexicana* (mirto) fueron exclusivas de los sitios de DB; mientras que *Dodonaea viscosa* (chapulixtle) fue exclusiva de los sitios de disturbio medio. Finalmente, se encontró que *Quercus rugosa* (encino) fue la especie sucesionalmente tardía del PECM y resultó ser muy sensible al nivel de disturbio (cuadro 7, apéndice 2).

Consideraciones finales

La erupción del Xitle modificó drásticamente el paisaje donde ahora se encuentra el PECM. Las lavas al enfriarse formaron caprichosas formas rocosas como depresiones, grietas y promontorios que dieron lugar a distintos microhábitats para la flora. En éstas, la formación de suelo a partir de la superficie rocosa es lenta, por lo que el establecimiento inicial de plantas a partir de distintos propágulos, debió darse sobre la acumulación de partículas arrastradas por el viento o agua, dónde sólo algunas especies de líquenes, musgos y helechos fueron capaces de colonizar la roca desnuda contribuyendo con ello a la lenta formación de suelo. Después de más de 1 600 años de la erupción del Xitle y de la acción de la sucesión ecológica (el reemplazo de la vegetación a través del tiempo), el matorral y el bosque fueron dominantes, de acuerdo con Rzedowski (1954), quien describió distintas asociaciones vegetales asociadas al perfil altitudinal, es decir desde los 2 500 a 2 900 msnm. A pesar de que en esta parte del valle de México la precipitación es abundante, como ocurre en los climas templado-húmedo, sobre la roca basáltica la baja disponibilidad de agua debido a la gran filtración es un factor que restringe el establecimiento de especies. Por ello muchas de éstas presentan adaptaciones típicas de plantas representativas de ambientes xéricos como espinas, pubescencia o tejidos crasos.

Por tanto, estos suelos con baja capacidad de retención de humedad, aunada al déficit hídrico estacional de la región son factores a considerar al momento de seleccionar las especies que podrán ser incluidas en programas de revegetación del parque. En este punto destacan las especies *A. salmiana* (maguey), *A. glabrata* (jarilla), *B. cordata* (tepozán), *S. oxypetalum* (siempre viva) y *S. praecox* (palo loco), que son estructuralmente importantes y que se presentan en todos los niveles de disturbio antrópico como elementos que servirían para conformar una composición basal de restauración (Mendoza-Hernández *et al.* 2013).

En el PECM destacan los rellenos coluvio-aluviales en los cuales el suelo se acumuló en mayor cantidad en las hondonadas de roca. Por tal motivo, la composición de especies difiere con respecto a zonas de roca desnuda. Aunque no se sabe con certeza cuál fue la historia de uso de las zonas de acumulación, la pendiente suave y las características de los depósitos en cuanto a la penetrabilidad de raíces y su contenido de nutrimentos permitió que el ser humano los utilizara como terrenos agrícolas, los cuales después de varios años de abandono se transformaron en zacatonales. Por su parte los pastos amacollados se encuentran naturalmente en el estrato herbáceo de los bosques de pino y pino-encino.

La ausencia de estrato arbóreo en los zacatonales del parque da lugar a diversas hipótesis. Dado que muchas especies de la familia de las gramíneas se caracterizan por ser altamente competitivas en ambientes perturbados, existe la posibilidad de que las especies pioneras fueran especies de pastos presentes con anterioridad en los bordes de los claros. Por otro lado, la recolonización de especies arbóreas parece estar limitada por la presencia de roedores que destruyen las raíces para obtener materiales para la construcción de sus madrigueras o para alimentarse. La competencia y la depredación son factores a considerar al momento de establecer algún proyecto de restauración de zacatonales abandonados, con la finalidad de trasladarlos a asociaciones forestales propias de la región.

El género *Quercus* (encinos) presenta una amplia diversidad funcional ante distintas condiciones ambientales (Acácio *et al.* 2010). En el PECM los bosques de encino crecen en distintas unidades de terreno como las lavas basálticas del grupo Chichinautzin, los lomeríos de dacita y las lavas del Xitle. Sin embargo, es posible observar que la densidad, abundancia y riqueza de especies de encino cambian en función de las caprichosas formas del terreno y de las cuales depende la acumulación de suelo, la disponibilidad de agua y la gran diversidad de microclimas. Por ello es importante realizar un estudio más detallado que determine la presencia de diferentes especies de encino ante las múltiples condiciones microclimáticas que ofrece el terreno.

El PECM resguarda una muestra representativa de la diversidad vegetal descrita por Rzedowski hace más de 50 años, por tanto se cuenta con sitios que pueden servir de referencia para guiar las acciones de restauración de la vegetación, como ha sido sugerido por la *Society for Ecological Restoration International* (SER 2004), integrando también la información presentada en este trabajo.

La identidad geológica de las unidades de terreno, el desarrollo y acumulación diferencial del suelo, el nivel de disturbio antrópico, la disponibilidad de agua, la heterogeneidad microtopográfica y microclimáticas son las fuerzas más importantes que estructuran a las comunidades biológicas en el PECM. De igual forma la cercanía de fuentes de propágulos a los distintos bordes del derrame de lava, a lo largo del gradiente altitudinal ha jugado un papel primordial en el reemplazo de la vegetación en las distintas comunidades vegetales del parque.

Debido al disturbio antrópico y a pesar de 20 años de recuperación natural, varias hectáreas de terreno del parque, en particular aquellas donde la comunidad vegetal dominante es el matorral xerófilo, aún están

Cuadro 4. Atributos estructurales de la vegetación arbustiva y arbórea de 10 sitios con distinto nivel de disturbio antrópico.

Nivel de disturbio y sitio	No. de individuos 160 m²	No. de especies 160 m²	Especies de arbustos	Especies de árboles	Altura de arbustos (m)	Altura de árboles (m)	AB total de arbustos (m²)	AB total de árboles (m²)	Cobertura total de arbustos (m²)	Cobertura total de árboles (m²)	AB de arbustos (%)	AB de árboles (%)	Cobertura de arbustos (%)	Cobertura de árboles (%)
Alto 1	30	12	9	3	1.33	2.08	0.24	0.03	13.03	6.23	0.15	0.02	8.14	3.89
Alto 2	27	8	7	1	1.35	2.28	0.16	0.06	8.35	40.98	0.1	0.04	5.22	25.62
Alto 3	32	8	7	1	1.47	1.55	1.56	0.05	34.47	5.94	0.98	0.03	21.55	3.71
Alto 4	27	8	7	1	1.46	2.1	0.39	0.03	26.05	16.28	0.24	0.02	16.28	10.18
Alto 5	42	11	10	1	1.24	1.57	0.5	0.01	21.01	1.87	0.31	0.01	13.13	1.17
Alto 6	41	10	7	3	1.39	1.63	0.82	0.02	29.8	14.87	0.51	0.01	18.62	9.29
Alto 7	65	10	9	1	1.41	1.77	1.37	0.01	47.42	2.27	0.86	0.01	29.64	1.42
Alto 8	49	15	13	2	1.37	2.73	0.78	0.07	18.6	28.15	0.49	0.04	11.62	17.59
Alto 9	35	9	8	1	1.66	2.5	0.15	0.12	27.52	33.48	0.09	0.08	17.21	20.93
Alto 10	46	7	5	2	1.48	1.71	0.77	0.01	40.68	4.22	0.48	0.01	25.43	2.63
Promedio ± error estándar							1.42 ± 0 .04	2.08 ± 0.13	0.67 ± 0.15	0.04 ± 0.01	26.69 ± 3.83	15.43 ± 4.47		
Medio 1	34	9	7	2	1.68	2.78	0.41	0.61	21.52	106.82	0.25	0.38	13.45	66.76
Medio 2	54	10	7	3	1.51	2.99	0.86	0.27	24.78	134.59	0.54	0.17	15.49	84.12
Medio 3	50	12	9	3	1.55	2.92	1.19	0.19	32.7	103.8	0.74	0.12	20.44	64.88
Medio 4	87	14	12	2	1.47	2.62	2.21	0.14	50.3	73.73	1.38	0.09	31.44	46.08
Medio 5	42	13	11	2	1.52	3.19	0.72	0.2	30.17	86.04	0.45	0.12	18.86	53.77
Medio 6	49	12	10	2	1.64	2.14	0.62	0.06	43.41	35.28	0.39	0.04	27.13	22.05
Medio 7	45	11	8	3	1.49	2.47	0.15	0.1	14.78	50.66	0.1	0.06	9.24	31.66
Medio 8	76	13	11	2	1.48	2.86	0.7	0.26	21.2	95.4	0.44	0.16	13.25	59.62
Medio 9	81	16	14	2	1.9	4.2	0.78	1.59	65.44	134.54	0.49	1	40.9	84.09
Medio 10	78	16	14	2	1.58	4.22	1.23	1.07	79.08	104.9	0.77	0.67	49.43	65.56
Promedio ± error estándar							1.58 ± 0.04	3.04 ± 0.22	0.89 ± 0.18	0.45 ± 0.16	38.34 ± 6.65	92.58 ± 10.25		
Bajo 1	81	23	14	9	1.51	3.98	0.59	0.65	61.04	214.69	0.37	0.41	38.15	134.18
Bajo 2	63	20	17	3	1.62	5.61	0.43	0.63	81.39	259.62	0.27	0.4	50.87	162.26
Bajo 3	94	20	17	3	1.55	4.21	1.28	1.72	78.16	331.59	0.8	1.08	48.85	207.24
Bajo 4	95	20	16	4	1.61	6.17	1.33	3.63	96.59	333.87	0.83	2.27	60.37	208.67
Bajo 5	62	18	14	4	1.73	5.14	0.31	2.86	36.68	269.41	0.2	1.79	22.93	168.38
Bajo 6	74	13	10	3	1.66	5.88	1.7	2.56	75.12	151.78	1.07	1.6	46.95	94.86
Bajo 7	73	19	14	5	1.63	4.93	0.43	3.11	46.37	511.79	0.27	1.94	28.98	319.87
Bajo 8	93	15	13	2	1.43	6.1	0.41	1.84	99.43	363.91	0.26	1.15	62.15	227.44
Bajo 9	92	20	16	4	1.59	6.87	1.24	1.87	111.99	296.13	0.77	1.17	69.99	185.08
Bajo 10	118	17	13	4	1.63	6.21	0.99	0.9	98.04	149.05	0.62	0.56	61.28	93.15
Promedio ± error estándar					1.60 ± 0.03	5.51 ± 0.29	0.87 ± 0.16	1.98 ± 0.33	78.48 ± 7.73	288.18 ± 34.04				

Fuente: elaboración propia.

muy alteradas. En contraste, sitios con disturbio medio y bajo se han recuperado de mejor forma (Mendoza-Hernández *et al.* 2013) y en algunos sitios, la diversidad y estructura vegetal son semejantes a la que Rzedowski (1954) describió. A futuro, será útil investigar el papel de algunas especies arbóreas y arbustivas dominantes con respecto a sus funciones como proveedores de hábitat y otros servicios dentro del ecosistema, además de determinar su potencial como pioneras en el reestablecimiento de las comunidades vegetales dentro de las áreas alteradas, y en particular dentro del marco de proyectos de restauración ecológica (Mendoza-Hernández *et al.* 2013).

En particular para proyectos de restauración ecológica (Mendoza-Hernández *et al.* 2013). De igual forma, se podrá evaluar la relación entre profundidad del suelo y otros atributos fisicoquímicos de los basaltos con la capacidad de sostener distintas asociaciones vegetales y/o especies muy características como el caso de los encinos.

Conclusión

Con la información recopilada y analizada de las unidades de terreno, con las características edáficas y las coberturas vegetales y otros usos del suelo, se espera contribuir al manejo y conservación del PECM. Con base en el efecto antrópico sobre los atributos estructurales y florísticos se pueden reconocer áreas con diferente nivel de intervención, es decir, niveles de prioridad para iniciar o aumentar las actividades de restauración ecológica. Áreas cercanas a los núcleos urbanos y sitios con rellenos artificiales serían de alta prioridad para la restauración. Sitios que hayan sido quemados y que después de tres a cinco años de recuperación presenten una dominancia de especies ruderales (malezas que se establecen en sitios muy alterados) o amacolladas deberían incorporarse a las áreas de alta prioridad de restauración. Las áreas donde se hayan depositado materiales antrópicos que tengan que ser retirados pueden ser categorizadas como zonas de prioridad alta también.

En cambio, sitios con disturbio medio donde la vegetación se modificó con herramientas manuales, así como áreas de la región sureste del parque donde confluyen tanto las lavas del Xitle, como las lavas de la Formación Chichinautzin y algunos lomeríos de dacita, donde la acumulación de suelo ha favorecido la actividad agrícola y el pastoreo de subsistencia, pueden ser considerados como áreas de prioridad media de restauración.

Las actividades de restauración deberán estar orientadas a mantener los servicios ecosistémicos de estos lugares a través de una política de regulación de la agricultura, el pastoreo, así como la reforestación con especies nativas y tolerantes al disturbio. Las zonas de baja prioridad de restauración deberán ser aquellas que tengan bosques de encino y matorral xerófilo bien establecido. En éstas, se recomienda llevar a cabo actividades como podas de saneamiento, podas de conformación, podas de aclareo, así como eliminación de especies parásitas, la redistribución de la hojarasca, además de hacer brechas cortafuego para reducir los riesgos de incendios. Además, independientemente de las unidades de terreno en el parque, histórica y actualmente se ha incrementado la apertura de distintos tipos de caminos o brechas que favorecen el acceso a las personas y contribuyen a generar situaciones de riesgo como incendios, acumulación de residuos y la entrada de fauna nociva, que pueden volverse feral o semisilvestre.

Por todo lo anterior, las actividades de restauración en los basaltos son en gran medida muy demandantes tanto económicamente como en términos de recursos humanos. Sin embargo, con la ayuda de datos como los que se presentan en esta contribución será posible optimizar y reorientar acciones de intervención que puedan tener resultados más evidentes a corto o mediano plazo y que contribuyan a la conservación de los recursos naturales del parque.

Agradecimientos

Pedro Eloy Mendoza agradece al apoyo recibido por PAPIIT-DGAPA IN201912 e IN205715.

Referencias

Acácio, V., M. Holmgren, F. Moreira y J.M.G. Mohren. 2010. Oak persistence in mediterranean landscapes: the combined role of management, topography, and wildfires. *Ecology and Society* 15(4):40.

Cano-Santana, Z. y J. Meave. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias* 41:41-68.

Cano-Santana, Z., I. Pisanty, S. Segura, *et al.* 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. Pp. 203-226. En: *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México.* K. Oyama y A. Castillo (eds.). UNAM Editorial Siglo XXI, México.

Córdova, C., A.L. Martin del Pozzo y J. López Camacho. 1994. Paleolandforms and volcanic impact on the environment of prehistoric Cuicuilco, southern Mexico City. *Journal of Archaeological Science* 2:585-596.

Delgado, H., R. Molinero, P. Cervantes, *et al.* 1998. Geology of Xitle volcano in Mexico City a 2000-year-old monogenetic volcano in an urban area. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 15(2):115-131.

Eggler, W.A. 1963. Plant life of Paricutin Volcano, Mexico, eight years after activity ceased. *American Midland Naturalist* 69(1):38-68.

Fenner, M. 1983. Relationships between seed weight, ash content and seedling growth in twenty-four species of compositae. *New Phytologist* 95:697-706.

Gómez-Romero, M., R. Lindig-Cisneros y S. Galindo-Vallejo. 2006. Effect of tephra depth on vegetation development in areas affected by volcanism. *Plant Ecology* 183(2): 207-213.

González-Hidalgo, B., A. Orozco-Segovia y N. Diego-Pérez. 2001. La vegetación de la reserva ecológica Lomas del Seminario, Ajusco, México. *Boletin de la Sociedad Botánica Mexicana* 69:77-99.

Johnson, N. y R.A. Jr. Parnell. 1986. Composition, distribution and neutralization of acid rain derived from Masaya volcano, Nicaragua. *Tellus* 38B:106-117.

Kilian, R., H. Biester, J. Behrmann, *et al.* 2006. Millennium-scale volcanic impact on a superhumid and pristine ecosystem. *Geology* 34(8):609-612.

Long, C.J., M.J. Power y P.J. Bartlein. 2011. The effects of fire and tephra deposition on forest vegetation in the Central Cascades, Oregon. *Quaternary Research* 75(1):151-158.

Martínez, M., E. Fernández, J. Valdés, *et al.* 2000. Chemical evolution and volcanic activity of the active crater lake of Poás volcano, Costa Rica, 1993-97. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 97:127–141.

Mendoza-Hernández, P.E., A. Orozco-Segovia, J.A. Meave, *et al.* 2013. Vegetation recovery and plant facilitation in a human-disturbed lava field in a megacity: searching tools for ecosystems restoration. *Plant Ecology* 214:153-167.

Moral, R. del, R. L. Walker y P.J. Bakkers, 2007. Insights gained from succession for the restoration of landscape structure and function. Pp. 19-40. En: *Linking, Restoration and Ecological Succession.* L. Walker, J. Walker y R.J. Hobbs. (eds.).

Peña-Ramírez, V.M., L. Vázquez-Selem y C. Siebe. 2009. Soil organic carbon stocks and forest productivity in volcanic ash soils of different age (1 835-30 500 years B.P.) in Mexico. *Geoderma* 149:224–234.

Reeuwijk, L.P. van. 1995. *Procedures for soil analysis. Technical Paper No 9.* International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands.

Rzedowski, J. 1954. La vegetación del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal. *Annales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas,* 8(1-2):59-129.

Schlichting, E. 1986. *Einführung in die Bodenkunde.* P. Parey, Hamburgo.

Segerstrom, K. 1966. Paricutin 1965: Aftermath of the eruption. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 965:1-164.

Siebe, C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 104:45-64.

Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo.* Serie de Publicaciones Especiales de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo No. 4.

SER. Society for Ecological Restoration International. 2004. *Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Principios de SER Internacional sobre la restauración ecológica.* En: *<http:www.ser.org>.*

Soberón, J., M. de la Cruz-Rosas y G. Jiménez. 1991. Ecología hipotética de la Reserva del Pedregal de San Ángel. *Ciencia y Desarrollo* 99:5-38.

Thompson, K., S.R. Band y J. G. Hodgson. 1993. Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology* 7:236-241.

Urrutia-Fucugauchi, J. y A.L. Martin del Pozzo. 1993. Implicaciones de los datos paleomagnéticos sobre la edad de la Sierra Chichinautzin, Cuenca de México. *Geofísica Internacional* 32:523-533.

WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2006. IUSS Working Group WRB. *World Soil Resources Reports* 103. FAO. Roma.

El suelo como ecosistema. ¿Qué se sabe de su biota edáfica?

María del Pilar Ortega Larrocea
María del Pilar Fernández Lomelín
Silke Cram Heydrich

Introducción

El suelo es un cuerpo natural que se encuentra sobre la parte superficial de la corteza terrestre, está constituido por materiales no consolidados (sueltos) como minerales, material orgánico, agua, aire y seres vivos. Se forma a partir de las rocas o sedimentos durante mucho tiempo por la acción de agentes físicos y químicos y por la actividad de los organismos que en él habitan. Es utilizado como sustrato por las plantas a las que aporta agua, oxígeno y nutrientes, además de anclaje; otras de sus funciones son la captación de agua y el ser medio de recarga del manto freático, proporciona el hábitat para muchos organismos y también mantiene la diversidad de la biota que habita en y sobre él (Wardle *et al.* 2004).

El suelo presenta una alta heterogeneidad espacial, horizontal y vertical, que se refleja en el paisaje y en los horizontes del suelo, lo que genera una gran variedad de hábitats (hojarasca, humus, poros, agregados, canales, rizósfera) (Verhoef y Olff 2009). Estas condiciones permiten el desarrollo de organismos con diversas estrategias de obtención de energía y alimentación. La interacción de organismos autótrofos y heterótrofos dan lugar a una compleja red trófica denominada edafón (figura 1). El edafón contribuye a la formación y regeneración del suelo (Schrader y Boning 2006, Barrios 2007) y desempeña un papel muy importante en las funciones que éste cumple sobre el ambiente, por ejemplo, interviene en los ciclos de carbono, azufre, nitrógeno y fósforo, fundamentales para el equilibrio de los ecosistemas; cabe mencionar que existe una fuerte correlación entre las actividades de las comunidades bacterianas y los procesos ecológicamente importantes del suelo, como por ejemplo, la transformación de residuos vegetales y otros materiales orgánicos en sustancias más sencillas que pueden ser aprovechadas por diversos organismos, lo que repercute, a su vez, en la fertilidad del suelo y en la productividad vegetal.

En resumen, el edafón mantiene la productividad de los ecosistemas (Hooper *et al.* 2000, Buscot y Varma 2005) y de los agroecosistemas (Giller *et al.* 1997, Kibblewhite *et al.* 2008) a través de procesos como la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrimentos (figura 2) , la bioturbación (alteración de un suelo o sedimento por actividad de los seres vivos) y la supresión de enfermedades y plagas dentro del suelo (Dick 1997, Obbard 2001); (figura 3). La enorme cantidad de procesos realizados en el suelo por una gran diversidad de organismos poco conocida ha llevado a que se le considere como una caja negra.

Existe una gran biodiversidad de los organismos del suelo; éstos se han clasificado por características tales como sus dimensiones, formas de alimentación u obtención de energía y funciones ecológicas (como los fijadores de nitrógeno, los desnitrificantes, los

Ortega-Larrocea, M.P., P. Fernández-Lomelin y S. Cram. 2016. El suelo como ecosistema. ¿Qué se sabe de su biota edáfica?. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 92-103.

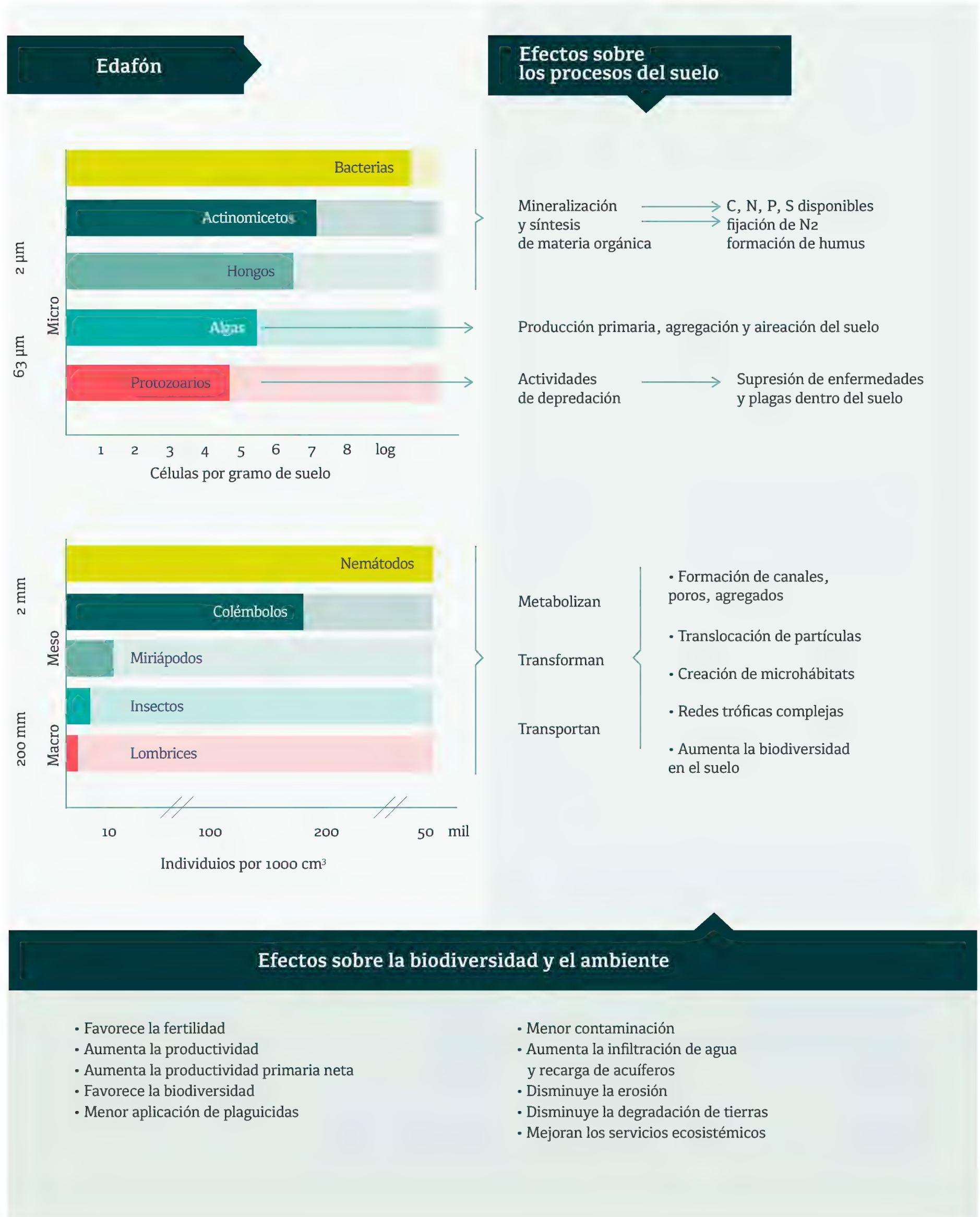


Figura 1. Composición del edafón y sus efectos sobre algunos procesos en el suelo, la biodiversidad y el ambiente. Fuente: elaboración propia. Modificado de Filip 2002.

Figura 2. Organización espacial del mantillo en un suelo orgánico. Superior: drilosfera o parte donde cae la hojarasca y donde todavía se puede ver la estructura de las hojas. Medio: parte donde crecen y se descomponen algunas raíces fibrosas. Inferior: detritosfera o parte donde se forma el humus o se descompone la materia orgánica. Cada uno de estos estratos tiene una microbiota particular. Fotografía: Iris Suárez.

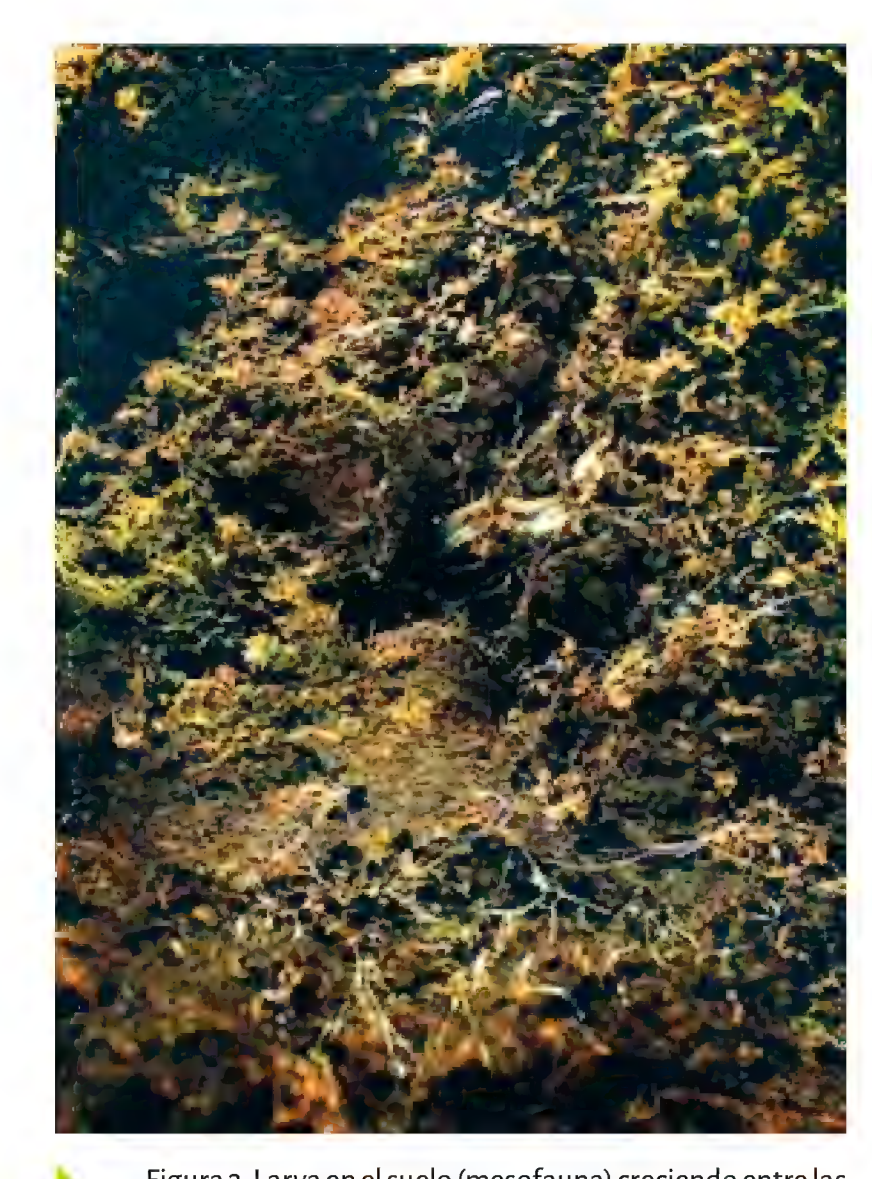


Figura 3. Larva en el suelo (mesofauna) creciendo entre las hifas y algas (microfauna). Fotografía: Liliana Guerrero.

amonificantes, etc.); sin embargo, no es sino hasta la aplicación de tecnologías de punta y métodos de vanguardia de la biología molecular, como la metagenómica edáfica (que consiste en el análisis del genoma o material genético de todos los organismos que habitan en una muestra de suelo) que se ha podido reconocer la complejidad de la ecología microbiana del suelo, lo que pone en evidencia que lo que se conoce hasta ahora es apenas la punta del iceberg (Nogales 2005), pues se estima que sólo se ha identificado alrededor de 1% de las especies de microorganismos del suelo (Martínez 2009).

Si bien falta mucho por hacer para profundizar en el conocimiento sobre la biota en los suelos naturales, lo es aún más para los suelos urbanos, en donde el edafón también es muy importante para que el suelo pueda cumplir con sus funciones y brindar servicios ecosistémicos (Vauramo y Setälä 2010, Yadava *et al.* 2012), sobre todo si se considera que el uso de los suelos urbanos es

muy heterogéneo, ya que va desde áreas reservadas para su conservación, hasta suelos profundamente transformados por aportes de diversos materiales, remoción, pisoteo, sellamiento, entre otras acciones.

La carencia de información sobre el suelo en zonas urbanas es una limitante para implementar prácticas de manejo que garanticen el restablecimiento y mantenimiento de los servicios ecosistémicos que éste provee y que son una herramienta indispensable para implementar la sustentabilidad de las ciudades. Por ejemplo, la gran falta de referencias bibliográficas sobre las características de las especies arbóreas de la Ciudad de México y sobre las condiciones del suelo urbano, ha sido un impedimento para llevar a cabo estrategias exitosas de reforestación de parques o bosques en la ciudad (Chacalo 2000, Vela-Correa *et al.* 2004).

El suelo

De acuerdo con la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría del Medio Ambiente (CORENA), la superficie de la Ciudad de México (149 900 ha) se clasifica en áreas de desarrollo urbano (suelos urbanos, SU) y áreas de conservación ecológica (suelos de conservación, SC). Los SU ocupan una superficie de 61 458 ha (41%) y los SC, de 87 310 ha (59%) (cuadro 1, CORENA 2012).

El concepto de SU se refiere a aquellos terrenos transformados por la urbanización (acceso rodado, abastecimiento de agua, edificaciones, etc.) que están integrados o son susceptibles de integrarse en la trama urbana (Azuara 2000, SEDEMA 2002). Los SC, en cambio, son superficies que protegen y mantienen la biodiversidad y los recursos naturales y pueden constituirse como áreas naturales protegidas (ANP) (Green

Cuadro 1. Suelo de conservación (SC) y áreas verdes urbanas en suelo urbano (SU).

Áreas	Categorías	Ejemplos
Suelo de Conservación	Reserva Ecológica Comunitaria (REC)*	San Miguel Topilejo y San Andrés Totoltepec (Tlalpan); San Bernabé Ocotepec (Magdalena Contreras) y San Nicolás Totolapan (Magdalena Contreras y Tlalpan)
	Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica (ACCE)*	Santiago Tepalcatlalpan (Xochimilco), Milpa Alta (Milpa Alta)
	Zona de Conservación Ecológica*	Ecoguardas (Tlalpan), La Armella (Gustavo A. Madero)
	Zona Sujeta a Conservación Ecológica (ZSCE)*	Parque Ecológico de la Ciudad de México (Tlalpan), Sierra Guadalupe (Gustavo A. Madero), Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (Xochimilco), Sierra de Santa Catarina (Iztapalapa y Tláhuac), Mixquic (Tláhuac)
	Área de Protección de Flora y Fauna (APFF)*	Corredor Biológico del Chichinautzin (Milpa Alta)
	Área de Protección de los Recursos naturales (Zona protectora forestal)*	Los Bosques de la Cañada de Contreras (Magdalena Contreras)
	Zona Ecológica y Cultural (ZEC)*	Cerro de la Estrella (Iztapalapa)
	Parques Nacionales (PN)*	Cumbres del Ajusco (Tlalpan), Desierto de los Leones (Cuajimalpa y Álvaro Obregón), Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla (Cuajimalpa y parte en el Estado de México), El Tepeyac (Gustavo A. Madero), Lomas de Padierna (Álvaro Obregón y Magdalena Contreras), El Histórico Coyoacán (Viveros) (Coyoacán), Cerro de La Estrella (Iztapalapa)
Suelo Urbano	Áreas con vegetación natural	Coyoacán, Sierra de Santa Catarina, Iztapalapa-Tlahuac
	Reserva urbana (RU)	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (unam) (Álvaro Obregón, Coyoacán y Tlalpan)

Cuadro 1. Continuación.

Áreas	Categorías	Ejemplos
Suelo Urbano	Zona Ecológica y Cultural*	Bosque de Tlalpan (Tlalpan)
	Zona Sujeta a Conservación Ecológica (ZSCE)*	Bosques de las Lomas, Tercera Sección del Bosque de Chapultepec I, Tercera Sección del Bosque de Chapultepec II (Miguel Hidalgo).
	Parques Nacionales (PN)*	Fuentes Brotantes de Tlalpan (Tlalpan)
	Bosques urbanos catalogados como áreas de valor ambiental (AVA)	Bosque de Chapultepec (Miguel Hidalgo), Bosque de San Luis Tlaxiatemalco y Bosque de Nativitas (Xochimilco), Bosque de Aragón (Gustavo A. Madero), Ciudad Deportiva "Magdalena Mixihuca" (Iztacalco y Venustiano Carranza), Cerro de Zacatépetl (Coyoacán)
	Barrancas urbanas (muchas son AVA)	Dolores, Barrilaco (Miguel Hidalgo); Vista Hermosa, La Diferencia (Cuajimalpa); Río Becerra-Tepecuache, Tarango, Puerta Grande (Álvaro Obregón); Anzaldo, Coyotera (Magdalena Contreras); Tecamachalco, Bezares-El Castillo (Miguel Hidalgo)
	Alamedas	Alameda Central (Cuauhtémoc), Alameda Poniente (Álvaro Obregón), Alameda Norte (Azcapotzalco), Alameda Sur (Coyoacán)
	Parques urbanos (PU)	Parque Bicentenario (Miguel Hidalgo), Parque México (Cuauhtémoc), Parque Hundido (Benito Juárez)
	Plazas y jardines públicos	Glorieta de Vaqueritos (Tlalpan), Plaza de las Vizcaínas, Plaza Garibaldi, Jardín Puschkin (Cuauhtémoc),
	Jardines privados	Todas las delegaciones
	Áreas verdes complementarias (ligadas a la red vial)	Camellones, glorietas, esquinas de calle
	Arborización urbana	Elementos vegetales en cajetes de aceras, vía pública, predios privados
	Equipamientos urbanos con vegetación (uso de suelo específico): cementerios, deportivos, unidades habitacionales, campus universitarios, aeropuerto	Deportivo Xochimilco (Xochimilco)
		Panteón San Lorenzo Tezonco (Iztapalapa) Unidad Habitacional Latinoamericana, Ciudad Universitaria (Coyoacán) Aeropuerto Benito Juárez (Venustiano Carranza)

*Área natural protegida
Fuente: PAOT 2010, GDF 2007, SEDEMA 2012.

y Paine 1997). Éstos procuran los siguientes servicios ambientales: disminuyen las altas temperaturas de las ciudades por el efecto de isla de calor, mejoran la calidad del aire, son áreas de captación e infiltración de agua para la recarga de mantos acuíferos, son un hábitat para la biodiversidad y permiten la viabilidad de la ciudad a través del papel multifuncional de los recursos naturales que albergan (CORENA 2012). Aun cuando los SC están protegidos por un marco legal en el que no se permite que sean modificados, hay evidencias de que están sujetos a un proceso acelerado de urbanización (Suárez-Pareyón 2010, Lastra y Santos en esta obra).

Las ANP en la entidad conforman 9.3% del SC y constituyen una estrategia para salvaguardar ecosistemas que aún conservan sus condiciones naturales. La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la ciudad diseñó los Programas de Retribución Económica por la Conservación de Servicios Ambientales en los que se contemplan las Reservas Ecológicas Comunitarias (REC), como San Miguel Topilejo y San Bernabé Ocotepec, y las Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica (ACCE), como Milpa Alta y Santiago Tepalcatlalpan (GDF 2005, 2006), para propiciar que los ejidos o comunidades que deseen conservar sus recursos puedan constituirse como ANP (cuadro 1).

Se tiene una estimación del número de especies animales, invertebrados, plantas vasculares y briofitas en México (Sarukhán *et al.* 2012); sin embargo, todavía no se cuenta con una lista de la diversidad de especies que habitan en el suelo. La presente contribución tiene como objetivo realizar un análisis con base en un muestreo bibliográfico de algunos de los principales accesos de los bancos de información (revistas indizadas, tesis, sitios *web*) en los que se encuentran referencias de trabajos sobre la biota edáfica en la Ciudad de México. Muchas de las citas son incluyentes sobre trabajos previos, como lo son los compendios sobre un grupo de organismos, por lo que la revisión no es exhaustiva, pero destaca el número de estudios de rápido acceso sobre las distintas zonas donde se encuentran los SC y SU de la entidad.

Estudios realizados

Un análisis de literatura (cuadro 2) muestra que se tiene un conocimiento diferencial de la biodiversidad de los SU de acuerdo con lo siguiente: 1) la extensión del área cubierta y tipo de ecosistema, por ejemplo, en suelos ubicados en bosques, reservas, parques naturales, barrancas, parques urbanos, jardines, etc., y si se incluyeron estudios de uno o varios sitios dentro de estas zonas; 2) el grupo biológico del suelo y tipo de estudio que se realiza, si se mencionaron uno o varios grupos de organismos edáficos (mamíferos, artrópodos, hongos, etc.), y 3) el conocimiento que se tiene del propio tipo de suelo y vegetación del lugar, si se proporcionó información ecológica relevante sobre el ecosistema o tipo de suelo.

El análisis de literatura disponible permite resaltar que de una zona pequeña como la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), existe gran cantidad de trabajos relacionados con la diversidad biológica en el suelo, en contraste por ejemplo, con el Corredor Biológico Chichinautzin, cuyo número de estudios y el tipo de información sobre su biota edáfica son menores, aun cuando los ecosistemas que se presentan en este último son más y el sitio tienen una mayor extensión. Un factor importante es que la REPSA se encuentra dentro de los terrenos de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), lo que propicia que una gran cantidad de recursos humanos

Cuadro 2. Algunos estudios realizados sobre diversidad del suelo.

Categoría y lugar	Grupo biológico de estudio	Tipo de Estudio	Información suelo-vegetación	Autores
REC, Totolapan	Mesofauna	Lombrices	Primer centro de vermicomposta rural	Ramírez 2007
ACCE, Milpa Alta	Macrofauna	Actividad excavadora de tuzas, impacto en suelo y en la agricultura	Bosque de pino-encino asociado a pastizal alpino y cultivos	Aquino 2006 González-Romero 1981 Villa 1983
APRN, AVA, Contreras cuenca Río Magdalena, Dinamos	Microbiota, Mesobiota	Bacterias coliformes, macromicetos (biodiversidad, especies degradadoras, comestibles y micorrizógenas)	Forestación-bosque, praticultura y agricultura	Contreras 2007 Villaruel-Ordaz y Cifuentes-Blanco 2007
APRN, REPSA (Reserva Urbana)*	Mesobiota Microbiota Macrobiota	Colémbolos, insectos (diversidad, abundancia, cadenas tróficas), macromicetos (listados taxonómicos) micorrizas (restauración, diversidad)	Matorral xerofítico/ Leptosol	Hernández *et al.* 2003 Lot y Cano-Santana 2009 (incluye tres citas) Palacios-Vargas 1981 Rojo 1994 Suárez 2010

Cuadro 2. Continuación.

Categoría y lugar	Grupo biológico de estudio	Tipo de Estudio	Información suelo-vegetación	Autores
ZSCE, Xochimilco, Mixquic	Macrofauna Microbiota Mesobiota	Roedores plaga, bacterias degradadoras de diesel, prácticas de manejo que disminuyen incidencia de patógenos, patógenos en suelo y contaminación microbiológica en aguas, hongos micorrizógenos arbusculares para tolerar salinidad, moluscos, hongos, invertebrados, rotíferos	Suelos agrícolas	Alanís 2000, Álvarez y Valencia 2007 Cardona-Gallo 2002 Carrión 2010 Guzmán 2003 Guevara 2009 López 2004 Martínez-Solares *et al.* 2009 Montiel 2005 Rodríguez-Guzmán 2001 Rosetes 2002 Villa 2000
ZSCE, Tláhuac	Microbiota	Consorcios microbianos sulfooxidantes como alternativa biotecnológica en la contaminación	Suelos alcalinos	Moya 2005
APFF, Sierra del Chichinautzin	Mesobiota	Macromicetos (hongos comestibles como indicadores de contaminación, diversidad de macromicetos, micorrizas), artrópodos	Bosque pino, calidad de sitio	Burgos-Solorio 2011 Gaso *et al.* 2000 López-Paniagua 1990 Portugal-Portugal y López-Eustaquio 2011 Reverchon *et al.* 2011
PN, Cerro de la Estrella	Microbiota Mesobiota	Hongos micorrízicos	Suelo y vegetación transformada por cambio uso de suelo	Gómez-Acata *et al.* 2009
PN, PU, Ajusco	Microbiota	Bacterias celulolíticas	Suelos ricos en desechos orgánicos	Orozco 2007
SU, Ticomán	Mesobiota	Lombrices, bacterias (abundancia), hongos (abundancia y aislamiento)	Lombricomposteo	Valencia-Maldonado *et al.* 2007
ZMVM**	Mesofauna, microbiota	Lombrices (diversidad local y exógena, recopilación, extinción), diversidad de coleópteros, termitas, artrópodos y gasteromicetes, bacterias (biodegradación de gasolina por consorcios)	Suelos urbanos	Fragoso 1993, 2001*a* y *b* Gutiérrez 2009 Llorente *et al.* 1996 Morales *et al.* 2004 Morón 2001 Morton-Bermea 2006 Valenzuela y Herrera 2009

*En este ecosistema hay ocho citas relacionadas a descripciones edáficas y de microorganismos que se pueden encontrar en las compilaciones mencionadas y en tesis.
** Zona Metropolitana del Valle de México, los estudios mencionan que la biota se estudió en la Ciudad de México o alrededores sin precisar una categoría de lugar aunque pueden indicar sitios diferentes (*e.g.* pastizales, bosques, etc.) sin indicar donde están localizados.
Fuente: elaboración propia.

especializados generen mayor cantidad de información. Existen otras zonas consideradas como Reservas Ecológicas Comunitarias (REC) —San Miguel Topilejo, San Andrés Totoltepec, San Bernabé Ocotepec— sobre las que la información disponible es realmente insuficiente dada la extensión o complejidad de los hábitats o ecosistemas. Lo mismo ocurre en San Nicolás Totolapan, sobre la que difícilmente se encontró una cita relacionada con un aspecto indirectamente involucrado con la diversidad natural del suelo (Ramírez 2007). En estas reservas, que son propiedades comunales con accesos más restringidos y que han tenido un mayor manejo e incidencia en los hábitats, la probabilidad de realizar estudios biológicos en los suelos es menor. En contraste, referentes a las Zonas Sujetas a Conservación Ecológica (ZSCE) como Xochimilco, Mixquic y Tláhuac, se pueden encontrar

muchos más informes, puesto que son zonas de uso agrícola y hortícola de alto interés económico y turístico, además de que son más accesibles para instituciones de educación media superior. Esta accesibilidad no se tiene para los suelos del Chichinautzin, que corresponden a la ciudad, aun cuando sus suelos representan un gran potencial económico en servicios ecosistémicos, como los de forestación y de provisión de agua para la metrópoli.

No se encontraron citas sobre biota edáfica para categorías de SU, como jardines, áreas verdes y camellones (cuadro 1), lo cual hace evidente el poco interés que se tiene en ellas. Tampoco hay mucha información para zonas boscosas en SC como el Ajusco y el Desierto de los Leones. Para estos lugares se encuentran varios estudios relacionados con vegetación y fauna (Pisanty *et al.* 2009), sin embargo son escasos aquellos que incluyen algunos grupos que forman parte del edafón como artrópodos y hongos (figura 3). Estos lugares no sólo son relevantes por su extensión territorial, sino que constituyen zonas importantes de reserva genética de la diversidad metropolitana (Barrios 2007).

Los estudios de los suelos agrícolas en la zona de Xochimilco han sido mejor documentados en relación con la microbiología de algunos grupos bacterianos como las bacterias desnitrificantes (Ruíz-Díaz 2011) y otros microorganismos de importancia para la productividad de los cultivos que se producen en esos suelos, siendo además un edafoecosistema único en el mundo por su manejo (chinampas).

Los estudios realizados en la Zona Metropolitana del Valle de México sobre el edafón se relacionan prioritariamente con investigaciones taxonómicas de la mesofauna (como insectos, nemátodos, colémbolos, ácaros), pero es escasa la información sobre la microbiota que proporcione datos ecológicos o relacionados con los ciclos de energía y de las funciones que llevan a cabo los organismos en el suelo o sus interacciones en la red trófica.

¿Qué falta?

El presente análisis sobre la información disponible de la biota edáfica pone de manifiesto la escasez de los estudios, no sólo de los organismos del suelo sino de las funciones que éste cumple en cualquier ecosistema natural o urbano. Lo anterior concuerda con lo expuesto por Fragoso y colaboradores (2001), quienes destacan la limitada cantidad de estudios que existen al respecto en todo el país y lo "descontextualizados del entorno edáfico" de la mayoría de ellos. Los trabajos que se mencionan en el cuadro 2 son el resultado de una investigación en redes informáticas realizada en las fuentes más comunes a las que tienen acceso tomadores de decisiones o público en general.

Las referencias representan sólo una primera aproximación, ya que sin lugar a dudas existen otros estudios de acceso más restringido. Esto, sin embargo, no modifica el hecho de que se cuente con muy poco conocimiento básico de los organismos y de los procesos que ocurren en los edafoecosistemas, sobre todo si se considera el impacto ambiental al que están sujetos. Zonas urbanas de gran potencial consideradas como Áreas de Valor Ambiental (AVA) o ANP, como el Bosque de Chapultepec, la Sierra de Santa Catarina, el Bosque de Tlalpan y los Viveros de Coyoacán, son indispensables para el mantenimiento de las redes tróficas que forma el edafón y sus funciones en la infiltración, ciclos biogeoquímicos y salud de las mismas plantas y animales que soportan. En el corto plazo, es urgente caracterizar la aptitud de los suelos en todas las categorías referidas que permitan diagnosticar a través del análisis de sus propiedades (porosidad, materia orgánica, textura, pH, etc.) su calidad como hábitat para la biota e identificar aquellos suelos degradados que requieran acciones de rehabilitación que promuevan la actividad biológica. A mediano plazo, además de identificar los principales grupos de organismos edáficos, se deben enfatizar las

funciones que cumplen en los suelos, ya que los grupos multifuncionales promueven la actividad de otros consorcios biológicos (por ejemplo las interacciones simbióticas en la zona de las raíces).

Los ecosistemas urbanos constituyen un área de oportunidad, ya que el estudio de su biota permitirá encaminar esfuerzos para la restauración y manejo adecuado de los suelos, tanto de conservación como urbanos, en la entidad. Por ejemplo, uno de los campos de oportunidad de estudio puede relacionarse con la necesidad de forestar, restaurar o rehabilitar ecosistemas cuyos suelos tengan problemas de contaminación o degradación y para los que se requiere, además de los datos físicos y químicos, indicadores biológicos de actividad y fertilidad que aseguren la supervivencia de las plantas. Lo anterior redundará en la generación de un mayor conocimiento biológico e información valiosa para los tomadores de decisiones que tienen injerencia en el ordenamiento territorial y en la implementación de programas de conservación y manejo. Esto se torna importante sobre todo ahora que se tiene una fuerte presión sobre las afectaciones a la salud y el deterioro del ambiente en la ciudad, ocasionados por el sellamiento de superficies, el aumento de la temperatura, la emisión de gases contaminantes, la escasez de agua y la pérdida de zonas que provean oxígeno, capturen carbono y presten otros servicios ecosistémicos, no sólo de regulación sino también recreativos y de esparcimiento que requieren los capitalinos.

Agradecimientos

Al proyecto PAPIIT-IT101812 y PAPIME PE108915, DGAPA-UNAM.

Referencias

Alanís M., L. 2000. *Identificación taxonómica de un grupo de moluscos (Gasteropoda).* Tesis de Licenciatura en Biología. uam-x.

Álvarez G., L. y L.M. Valencia. 2007. *Cambios del uso del suelo en la zona chinampera de Xochimilco,* D. F. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FESZ), UNAM. México.

Aquino C., M. 2006. *Variación estacional en la producción de montículos de tierra de Crateogeomys merriami y Thomomys umbrinus (Rodentia: Geomyidae)* en tres hábitats de Milpa Alta, D.F. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. México.

Azuara, I. 2000. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF) 2002-2003. CORENA.

Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64:269-285.

Buscot, F. y A. Varma. 2005. *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions.* Springer Verlag, Heidelberg.

Burgos-Solorio, A. 2011. Artropofauna. Corredor Biológico Chichinautzin. En *<http://www.cib.uaem.mx/chichinautzin/descripcion.html>*, última consulta: 2 de diciembre del 2012.

Cardona-Gallo, S.A. 2002. Degradación de diesel mexicano por bacterias de un suelo agrícola y oxidación con peróxido de hidrógeno. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México.

Carrión, H.C. 2010. *Evaluación del lirio acuático (Eichhornia crassipes) como remediador de agua y mejorador de suelo en el ANP de Xochimilco.* Tesis de Licenciatura en Biología, FC-UNAM.

Chacalo, A. 2000. ¿Son los inventarios de árboles herramientas esenciales para la gestión de los árboles de la ciudad? *Diario de Arboricultura* 26:5.

Contreras, N.L. 2007. *Diagnóstico ambiental del corredor ecoturístico de la Cañada de Contreras,* D.F. Tesis de Licenciatura en Biología, FESZ-UNAM. México.

CORENA. Comisión de Recursos Naturales del Gobierno del Distrito Federal. 2012. En: *<http://www.sma.df.gob.mx/corena/index.php?option=com_content &view=article&id=44&Itemid=1>*, última consulta: 31 de octubre de 2012.

Dick, R.P. 1997. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. Pp. 121-156. En: *Biological Indicators of Soil Health.* C.E. Pankhurst, B.M. Doubey V.V.S.R. Gupta (eds.). CAB International. N.Y. U.S.A.

Filip, Z. 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameter. *Agriculture, Ecosystems and Environmental* 88:169-174.

Fragoso, C. 1993. Importancia de las lombrices de tierra (Oligochaeta) en el monitoreo de áreas prioritarias de conservación del centro, este y sureste de México. Informe final de CONABIO. En: <*http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfL301.pdf*>, última consulta: 1º de marzo de 2016.

——. 2001*a*. Diversidad y Manejo de los Termes de México (Hexápoda, Isóptera). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), número especial 1:131-171.

——. 2001*b*. Las Lombrices de Tierra de México (Annelida, Oligochaeta): Diversidad, Ecología y Manejo. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), número especial 1:131-171.

Fragoso, C., P. Reyes-Castillo, P. Rojas. 2001. La importancia de la biota edáfica en México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), número especial, 1:1-10.

Gaso, I., N. Segovia, L. Cervantes, *et al.* 2000. Algunos hongos comestibles como indicadores biológicos de contaminación en los bosques de la Sierra del Chichinautzin. 1er. Seminario Iberoamericano de Prospectiva sobre Medio Ambiente y Desarrollo, CIIEMAD-IPN.

Giller, K.E., M.H. Beare, P. Lavelle, *et al.* 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6:3-16.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2005. Acuerdo por el que se expide el programa de retribución por la conservación de servicios ambientales en Reservas Ecológicas comunitarias. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. 19 de octubre del 2005.

——. 2006. Acuerdo por el que se aprueba el programa de retribución por la conservación de servicios ambientales en áreas comunitarias de conservación ecológica. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. 8 de diciembre del 2006.

——. 2007. Programa General de Desarrollo 2007-2012 del Gobierno del Distrito Federal. Anexo Estadístico, p. XXXIV.

Gómez-Acata, S.E., L. Varela y E. Amora-Lazcano. 2009. Hongos formadores de micorriza arbuscular presentes en el Cerro de la Estrella, Iztapalapa, Distrito Federal. X Congreso Nacional de Micología. Guadalajara, México.

González-Romero, A. 1981. *Roedores plaga en las zonas agrícolas del Distrito Federal.* Publicación No. 7. Instituto de Ecología, Museo de Historia Natural de la Ciudad de México.

Green, M.J.B. y J. Paine. 1997. State of the World's Protected Areas at the End of the Twentieth Century. IUCN World Commission on Protected Areas Symposium on "Protected Areas in the 21st Century: From Islands to Networks" Albany, Australia.

Guevara O., O.M. 2009. *Especies de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) y su influencia en la tolerancia y bioacumulación de sales en Portulaca oleraceae L. y Beta vulgaris var. cicla L.* Tesis de Licenciatura en Biología, FESZ-UNAM.

Gutiérrez C., G.A. 2009. *Contenido de metales pesados en suelos de parques urbanos y áreas de reserva ecológica en la zona metropolitana de la Ciudad de México.* Tesis de Licenciatura en Biología, (FESI)-UNAM.

Guzmán R., C.P. 2003. *Catálogo analítico de la biota actual de Xochimilco (II) Hongos, Plantas y Cordados.* Tesis de Licenciatura en Biología. UAM-X.

Hernández, C.L., A.S. Castillo, C.P. Guadarrama, *et al.* 2003. *Hongos Micorrizógenos Arbusculares del Pedregal de San Ángel.* FC-UNAM.

Hooper, D.U., D.E. Bignell, V.K. Brown, *et al.* 2000. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. *BioScience* 50:1049-1061.

Kibblewhite, M.G., K. Ritz y M.J. Swift. 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Section B, Biological Sciences* 363: 685–701.

Llorente, J.B., E. González y N. Papavero (eds.). 1996. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento.* Vol. 2. México, UNAM.

López-Paniagua, J. 1990. Monografía de la Flora y Vegetación del área de protección de flora y fauna silvestre del corredor biológico Chihinautzin. Pp. 15-17. En: *Programa integral de manejo para el área de protección de flora y fauna silvestre y acuática "Corredor Biológico Chichinautzin"*, Estado de Morelos, México. uam/Universidad del Estado de Morelos.

López R., E. 2004. *Catálogo ilustrado de la biota de Xochimilco y análisis de la biota registrada en los últimos 100 años (I): Microbiota e invertebrados.* Tesis de Licenciatura en Biología, UAM-X.

Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.) 2009. *Biodiversidad del Pedregal de San Ángel.* México, UNAM, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación. Científica.

Martínez-Solares, P., A. Monroy Ata y R. Dirzo Minjares. 2009. Fitorremediación de salinidad edáfica mediante tres especies inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares en una chinampa de Xochimilco, D.F. X Congreso Nacional de Micología. Guadalajara, México.

Martínez R., S.E. 2009. *La ciudad y el ambiente como un solo sistema: el suelo de conservación y su carácter estratégico para la dinámica urbana del Distrito Federal.* Tesis de Doctorado en Economía. Facultad de Economía, UNAM.

Montiel R., C. 2005. *Evaluación de la calidad bacteriológica del agua de los canales de Xochimilco y caracterización serológica de Escherichia coli.* Tesis de Licenciatura en Biología. FESI-UNAM.

Morales, M., E. Velázquez, J. Jan, *et al.* 2004. Methyl tert-butyl ether biodegradation by microbial consortia obtained from soil samples of gasoline-polluted sites in Mexico. *Biotechnology Letters* 26:269-275.

Morón, M.A. 2001. Larvas de escarabajos del suelo en México (Coleoptera: Melolonthidae). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 1:111-130.

Morton-Bermea, O. 2006. Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la Ciudad de México, UNAM. *Revista especializada de Ciencias Químico-Biológicas* 9(1):45-47.

Moya G., P. 2005. *Evaluación de la actividad sulfooxidante termotolerante de microorganismos provenientes de un suelo alcalino.* Tesis de Licenciatura en Biología, FESZ-UNAM.

Nogales, B. 2005. La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg. *Ecosistemas* 14:41-51.

Obbard, J.P. 2001. Ecotoxicological assessment of heavy metals in sewage sludge amended soils. *Applied Geochemistry* 16:1405-1411.

Orozco C., C. I. 2007. *Aislamiento y caracterización de bacterias celulolíticas de muestras ambientales para su posible aplicación biotecnológica.* Tesis de Licenciatura en Química de Alimentos, Facultad de Química, UNAM.

Palacios-Vargas, J.G. 1981. Note on the Collembola of Pedregal de San Angel, México D.F. *Entomological News* 92:42-44.

Pisanty, I., M. Mazari y E. Ezcurra. 2009. El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas. Pp. 719-759. En: *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio.* CONABIO. México, .

PAOT. Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial del DF. 2010. *Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad. de México.* GDF.

Portugal-Portugal, D. y L. López-Eustaquio. 2011. Micología. Corredor Biológico Chichinautzin. En: *http://www.cib.uaem.mx/chichinautzin/descripcion.htm*, última consulta: 2 de diciembre del 2012.

Ramírez, B.T. 2007. Crean el primer centro de vermicomposta. En *http://www.organicconsumers.org/ACO/articulos/article_5762.cfm*, última consulta: 24 de abril 2012.

Reverchon, F., M.P. Ortega-Larrocea y J. Pérez-Moreno. 2011. Soil factors influencing ectomycorrhizal sporome distribution in neotropical forests dominated by *Pinus montezumae*, Mexico. *Mycoscience*, 53:203-210.

Rodríguez-Guzmán, M.P. 2001. Biodiversidad de los hongos fitopatógenos del suelo de México. Menciona exclusivamente algunas prácticas de manejo que han podido disminuir la incidencia de fitopatógenos en suelos de Xochimilco. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 1:53-78.

Rojo, A. (comp.). 1994. *Reserva Ecológica El Pedregal: ecología, historia natural y manejo.* México, UNAM.

Rosetes M., M.A. 2002. *Determinación taxonómica de los rotíferos del género Iceratella de los canales de la zona chinampera de Xochimilco.* Tesis de Licenciatura en Biología, UAM-X.

Ruíz-Díaz, U.A. 2011. *Análisis de la composición microbiana de los genes nirK y nosZ en el suelo de Chinampa de Xochimilco, México: estudio en microcosmos.* Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas (PCB), UNAM.

Sarukhán, J., J. Carabias, P. Koleff y T. Urquiza-Hass. 2012. *Capital natural de México: Acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación.* CONABIO, México .

Schrader, S. y M. Boning. 2006. Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans. *Pedobiologia* 50:347-356.

SEDEMA. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012. Inventario Nacional de Suelos. México.

Suárez Q., I. 2010. *Alternativas simbióticas y asimbióticas de conservación (micropropagación y reintroducción) de Dichromanthus aurantiacus (Orchidaceae), como especie modelo en la Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel.* Tesis de Maestría en Ciencias (Biología Ambiental) con Orientación en Restauración Ecológica, PCB-UNAM.

Suárez-Pareyón, A. 2010. Una experiencia de planeación urbana participativa en la periferia de Ciudad de México, el caso de Milpa Alta. Boletín CF+S, Ciudades para un futuro más sostenible. En: *<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ac-asua.html>*, última consulta: 1º de marzo de 2016.

Valencia-Maldonado, P., M.L. Sánchez-García, M.L. Moreno-Rivera, *et al.* 2007. Lombricomposteo de desechos de frutas. En: *<http://www.biotecnologia.upibi.ipn.mx/recursos/documentos/gaceta%20upibi%20fuera%20de%20servicio%2016%20enero%2008/2007/gaceta%20marzo-abril%2007/ArticuloInvestigacion.pdf>*, última consulta: 2 de diciembre del 2012.

Valenzuela, V.H. y T. Herrera. 2009. Contribución al conocimiento de los Gasteromicetes del Distrito Federal. X Congreso Nacional de Micología.

Vauramo, S. y H. Setälä. 2010. Urban belowground food-web responses to plant community manipulation – Impacts on nutrient dynamics. *Landscape and Urban Planning* 97:1-10.

Vela-Correa, G., D. Flores Román, M.L. Rodríguez Gamiño, *et al.* 2004. Propiedades edáficas y calidad de sitio de áreas reforestadas en la Sierra de Guadalupe, Distrito Federal. Informe Final del Proyecto. Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental (CONSERVA), SEDEMA. México, Laboratorio de Edafología, uam-x.

Verhoef, H.A. y H. Olff. 2009. Trophic dynamics of communities, Pp. 25-26. En: *Community Ecology*. H.A. Verhoef y P.J. Morin (eds.). Processes, Models and Applications. Reino Unido, Oxford University Press.

Villa C., B. 1983. Impacto negativo de una especie de roedor hipogeo (Mammalia: Geomydae) en la agricultura y positivo en la edafología. *Anales del Instituto de Biología, unam, Series Zoología* 54:237-242.

Villa C., B. 2000. Evaluación del daño ocasionado por la tuza Pappogeomys merriami en cultivos de maíz en Mixquic, D.F. *Anales del Instituto de Biología*, unam. *Series Zoología* 71:185-191.

Villaruel-Ordaz, J.L. y J. Cifuentes-Blanco. 2007. Macromicetos de la cuenca del río Magdalena y zonas adyacentes, Delegación Magdalena Contreras, México. *Revista Mexicana de Micología* 25:59-68.

Wardle, A.D., R.D. Bardgett, J.N. Klironomos, *et al.* 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 34:1629-1633.

Yadava, P., K. Duckworthb y P.S. Grewal. 2012. Habitat structure influences below ground biocontrol services: A comparison between urban gardens and vacant lots. *Landscape and Urban Planning* 104:238-244.

Usos y cobertura de suelo

Valentino Sorani Dalbón
Gustavo Rodríguez Obregón
Diego David Reygadas Prado

Introducción

En la Ciudad de México se observan diversos usos del suelo y comunidades vegetales que constituyen un complejo mosaico y dan origen a tres grandes paisajes: el paisaje urbano, que se distingue por ocupar la mayor parte del espacio con grandes construcciones; el paisaje periurbano, caracterizado por la acelerada transformación de los espacios de vegetación natural periféricos de la ciudad, en los cuales se observa una mezcla de desarrollos residenciales con espacios habitacionales de interés social (Aguilar y Escamilla 2011), y el paisaje natural, comprendido por los ecosistemas conformados mayormente por comunidades vegetales típicas de áreas templadas y semiáridas.

Un punto de partida en el estudio de la biodiversidad consiste en la descripción de estos usos del suelo, en particular de los ecosistemas, entendidos como las entidades funcionales en las cuales residen y se desarrollan las especies que conforman la riqueza biológica de las distintas comunidades vegetales. Dicho lo anterior, en el presente aporte se describen los usos del suelo y coberturas vegetales presentes , a partir de la generación de cartografía a partir de sistemas de información geográfica y percepción remota.

Metodología

En la elaboración de la cartografía de uso de suelo y vegetación se utilizaron imágenes de satélite tomadas en el 2005 con el sensor Quickbird (el cual tiene una resolución espacial de 0.6 m), así como de imágenes captadas con el sensor SPOT en el año 2008, cuya resolución es de 2.5 m. Se realizó la interpretación visual de las imágenes Quickbird a una escala 1 : 10 000, trazando polígonos de cada tipo de uso de suelo y vegetación. Posteriormente esta interpretación se verificó apoyándose en las imágenes SPOT y en recorridos de campo.

Principales coberturas y usos de suelo

Si se agrupan las coberturas y usos del suelo en grandes categorías, casi 48.6% del total del territorio de la ciudad está cubierto por la zona urbana; 34.7%, por vegetación natural (bosques y matorrales en su mayoría), mientras que 16.8% restante corresponde a las áreas agropecuarias en las cuales se incluyen los cuerpos de agua, ya que en la mayoría de los casos están relacionados de manera directa con las actividades productivas que se desarrollan en estas áreas (figura 1).

La porción centro-norte está ocupada primordialmente por infraestructura urbana, motivo por el cual se le denomina suelo urbano (véase la figura 1 en el capítulo "Delimitación del área de estudio y regionalización"). En dicho suelo, además de las casas habitación y el equipamiento urbano (centros comerciales, mercados públicos, sitios de importancia cultural, etc.), se localizan importantes áreas verdes (vegetación urbana)

Sorani-Dalbón, V., G. Rodríguez-Obregón y D. Reygadas P. 2016. Usos y cobertura del suelo. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 104-112.

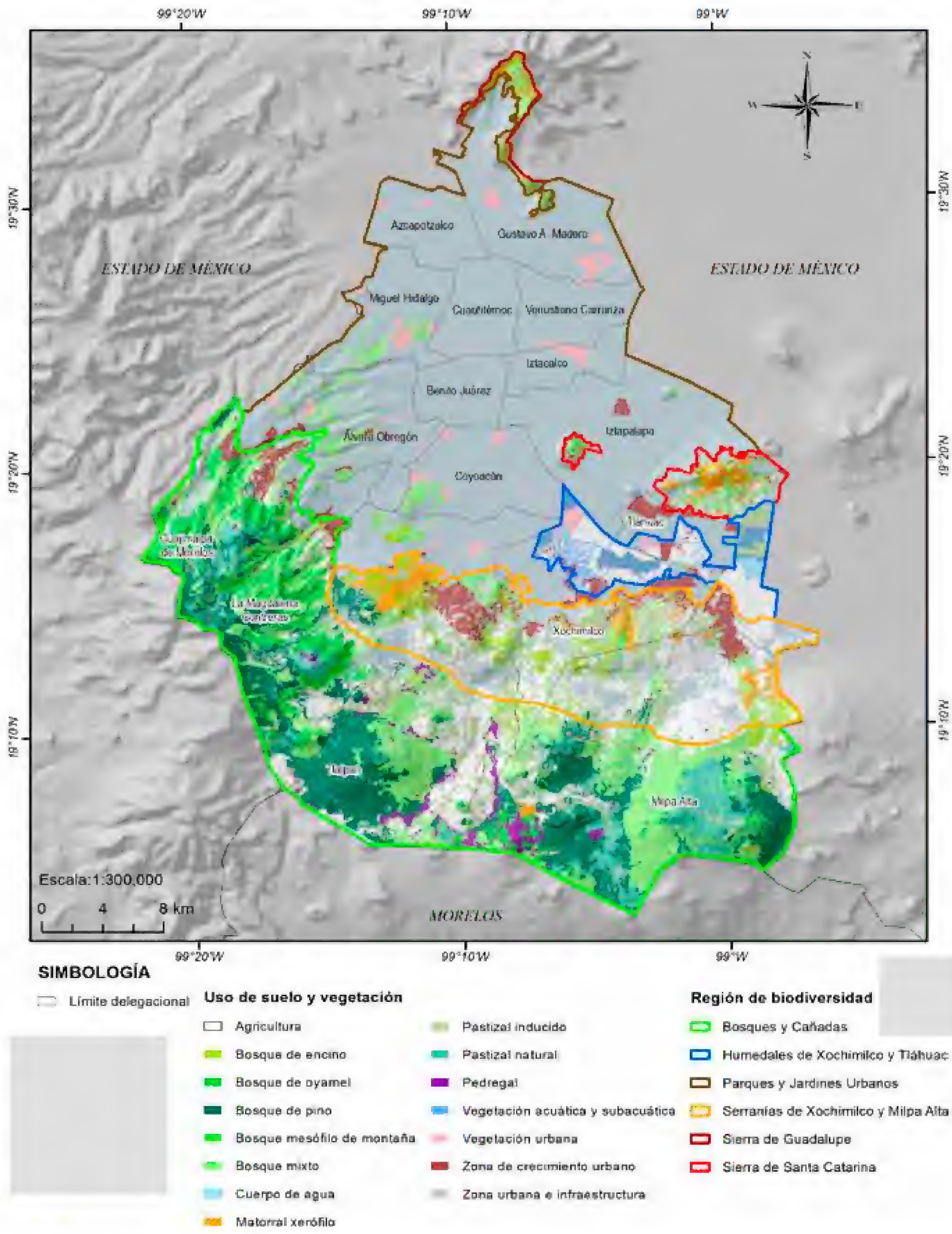


Figura 1. Principales coberturas y usos del suelo. Fuente: elaboración propia.

que constituyen parte de la riqueza biológica de la ciudad (introducida y nativa), así como importantes nichos para la fauna. La importancia de esta riqueza biológica puede consultarse en el estudio realizado por la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la ciudad (PAOT 2010).

Complementariamente, en la parte sur de la ciudad, definida como Suelo de Conservación, se concentra la biodiversidad de la entidad en alrededor de nueve ecosistemas diferentes; número elevado si se toma en cuenta la superficie reducida de la misma. Su distribución sigue un marcado patrón altitudinal, que va desde los 2 350 a los 3 500 msnm. En la parte baja, a menos de 2 400 msnm, se encuentran humedales derivados de la bonificación de suelo agrícola sobre el embalse del antiguo lago de Xochimilco que juegan un papel importante como refugio para varias especies de fauna, en particular de aves (SMA 2009).

En el piedemonte, en suelos someros desarrollados sobre lava proveniente de la actividad volcánica en esta zona, se encuentran matorrales xerófilos (comunidades que se caracterizan por la presencia de arbustos espinosos que se desarrollan en sitios áridos y semiáridos). Probablemente gran parte del área del piedemonte se encontraba cubierta por encinos (*Quercus* spp.) que desaparecieron por la presión de la agricultura y de la necesidad de leña para la producción de carbón y como material de construcción. Esos encinares se conservan en barrancas —como las de Oyametitla, Texcalatlaco y Arroyo Borracho entre otras—, creadas por escurrimientos provenientes de las zonas más altas que trazan en el piedemonte un patrón con orientación noreste-suroeste o norte-sur (Espinosa 1979).

En altitudes mayores a los 2 500 msnm las condiciones climáticas favorecen el desarrollo del pino que remplaza paulatinamente al encino, dando origen a bosques mixtos. Por encima de los 2 800 msnm se encuentran bosques de oyamel (*Abies religiosa*) y, finalmente, cerca de las cimas del sistema montañoso (arriba de los 3 500 msnm), se encuentran bosques de *Pinus hartwegii* (pino de las alturas) y pastizales naturales denominados zacatonales, que constituyen el hábitat de algunas de las especies endémicas del Faja Volcánica Transmexicana, como es el caso del teporingo (*Romerolagus diazi*) y el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) (Velázquez y Romero 1999).

La descripción de estas coberturas (tipos de vegetación) y usos del suelo se presentan a continuación.

Pastizal natural

El pastizal natural, conocido también como pastizal de alta montaña o zacatonal alpino o subalpino, ocupa una superficie de 6 377 ha (4.3% de la superficie de la ciudad). Es considerado natural debido a que una vez que el bosque de coníferas desapareció por algún fenómeno natural o por la acción combinada de incendios y pastoreo, requiere largo tiempo para establecerse (Rzedowzki 1978). En su mayoría se localiza dentro de la región Bosques y Cañadas, en las delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta, entre los 2 600 y los 3 900 msnm, en suelos volcánicos fértiles (Andosoles húmicos en la clasificación de la FAO 2007) y zonas con precipitación media anual variable entre 850 y 1 600 mm.

Está conformado por pastos amacollados que comúnmente se encuentran asociados con el bosque de *P. hartwegii* (SMA 2009).

En esta comunidad dominan las especies de *Muhlenbergia macroura, M. quadridentata, M. ramulosa, Festuca tolucensis* (zacatón), *F. amplissima, Calamagrostis tolucensis, Poa annua* (pastito de invierno, espiguilla) y *Potentilla staminea* (suelda) (Silva *et al.* 1999).

En algunas partes bajas, dentro de la región Serranías de Xochimilco y Milpa Alta, existen otros pequeños pastizales de origen secundario, que comúnmente están mezcla-

dos con el matorral xerófilo, donde se puede encontrar *Aristida adscensionisis* (tres barbas, zacate de agua), *Bouteloua simplex* (navajita) e *Hilaria cenchroides* (zacate grama), entre otras (SMA 2009).

Bosque de coníferas

El bosque de coníferas incluye dos comunidades: el bosque de pino compuesto principalmente por las especies de *P. montezumae* (pino real), *P. hartwegii* (pino de las alturas), *P. rudis* (ocote), *P. teocote* (ocote) y *P. lehiophylla* (pino chino) y el bosque de oyamel, integrado por *A. religiosa*.

La comunidad de *Pinus* cubre 12 885 ha (8.7% del territorio de la ciudad y 14.8% del suelo de conservación) de las cuales 40% presenta algún grado de perturbación o deterioro observable a simple vista, con árboles viejos y con poca regeneración natural (SMA 2009). Ocupa una franja entre los 2 600 y 3 800 msnm, en pendientes elevadas, con precipitación promedio anual de 1 300 a 1 400 mm con un máximo de 1 600 mm, y temperaturas promedio entre 15 y 18°C (Velázquez y Romero 1999). Se encuentran principalmente en suelos volcánicos (Andosoles húmicos y mólicos) o rocosos (Leptosoles líticos) (SMA 2009). La perturbación es mayor en terrenos de menor pendiente debido a su fácil acceso, que permite su explotación y por ende la remoción de la cobertura vegetal.

El bosque de *A. religiosa* ocupa una extensión de 5 320 ha, (3.6% del territorio de la capital y 6.1% del Suelo de Conservación). Se distribuye casi en su totalidad en suelos volcánicos (Andosoles húmicos) entre 2 500 y 3 200 m de altitud, en pendientes moderadas y en zonas de precipitación promedio anual de 1 400 mm, con máximos de 1 600 mm, y temperatura promedio anual de 10°C (Velázquez y Romero 1999).

El bosque de pino cubre una superficie de 12 885 ha, se distingue en dos comunidades. La primera de ellas es la constituida por *P. hartwegii* como único elemento arbóreo, la cual se desarrolla por arriba de los 3 000 msnm. El estrato arbustivo es poco notorio y las principales especies del estrato herbáceo son *M. macroura* (zacatón), *M. montana*, *Stipa ichu* (paja), *Festuca rosei* (pasto de Sudán), *Penistemon campanulatus* (tarritos, chilpa), *Cerastium* sp., *Eryngium* sp. (hierba del sapo), *Begonia gracilis* (ala de ángel) y Villadia batesii (López-Paniagua *et al.* 1990, Leñero *et al.* 2007). La segunda comunidad es la conformada por algunas de las restantes especies de pino (*P. montezumae*, *P. rudis*, *P. teocote* y *P. lehiophylla*); en algunos sitios como el volcán Ajusco es posible verlas asociadas con individuos aislados de *Salix paradoxa* (huejote) y *Juniperus monticola* (enebro), mientras que en algunos otros como Milpa Alta y Tlalpan (volcanes Tláloc y El Pelado) se asocian con *Alnus jorullensis* (aile). La mayor superficie de bosque de pino se ubica en la región Bosques y Cañadas, así como en las delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta (SMA 2009).

El bosque de oyamel se caracteriza por tener un estrato arbóreo en donde el elemento dominante y con frecuencia único es *A. religiosa*, un estrato arbustivo escaso en el que predomina *Roldana angulifolia* (senecio), en ocasiones acompañado de *Ribes ciliatum* (sarahuache), *Cestrum anagyris* (huele de noche), *Solanum cervantesii* (hierba del zopilote, quelite morado), y un estrato herbáceo compuesto principalmente por *Arracacia otropurpurea* (hierba del borrego, acocote), *Sigesbeckia jorullensis* (pega ropa) y *Euphorbia furcillata* (hierba del coyote) (Rivera y Espinosa 2007). Los bosques de oyamel de la sierra de Las Cruces y la sierra del Ajusco presentan diferentes estratos. El estrato arbóreo se puede presentar en dos asociaciones: *A. religiosa-Quercus* spp. y *A. religiosa-Alnus firmifolia*. La primera asociación ocurre en altitudes superiores a los 3 000 msnm, en donde los estratos arbóreo y arbustivo llegan a sumar en conjunto más de 90 especies. La segunda asociación se localiza por debajo de los

3 000 msnm; su estrato arbustivo está representado por *S. macrophyllus, S. elegans, Cinna poaeformis* (cabezuela), *Cirsium pinetorum, Pernettya ciliata* (pernetia), *Siegesbeckia orientalis* (hierba de San Juan), *Arbutus xalapensis* (madroño) y *Salix cana* (sauce). El número de especies dentro de esta asociación supera las 120 (SMA 2009). Se localiza principalmente al poniente de la región Bosques y Cañadas, en las delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras; aunque también existen pequeños manchones en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta.

En algunos sitios en donde la densidad de *A. religiosa* es baja, o en condiciones de disturbio, se puede encontrar un estrato arbóreo bajo con *S. paradoxa* (huejote), Garrya *laurifolia* (palo azul), *Sambucus nigra* (sauco) y *Buddleja cordata* (tepozán).

Bosque de encino

El bosque de encino (*Quercus* sp.) es frecuente en el sur de la entidad. En su mayoría presenta un estrato arbóreo bajo, con altura entre 5 y 12 m, con densidad moderada (McVaugh 1974, Espinosa 1979, Zavala Chávez 1998). Actualmente este bosque es muy escaso ya que ha sido remplazado por asentamientos humanos (cubre una superficie de 2 741 ha, equivalente a 1.8% del territorio de la ciudad, de las cuales más de 60% están perturbadas). Se localiza en la región Serranías de Xochimilco y Milpa Alta en las delegaciones de Xochimilco, Tlalpan y Milpa Alta en una franja comprendida entre los 2 500 y 2 800 msnm, llegando en ciertas zonas hasta los 3 200 msnm. Este bosque se desarrolla sobre suelos formados por lavas gruesas y suelos someros con rocas a menos de 10 cm de profundidad (Leptosoles líticos en la clasificación FAO 2007); sobre suelos ricos en materia orgánica (Phaeozems) o suelos volcánicos (Andosoles), comúnmente en laderas con exposición sur o suroeste por ser más resistente que otras especies a menores requerimientos de humedad. Se presenta en lugares con precipitación promedio anual entre 700 y 1 400 mm (SMA 2009).

Bosque mesófilo de montaña

El bosque mesófilo de montaña se encuentra en zonas húmedas con precipitación arriba de 1 000 mm por año. Más de 75% se encuentra en suelos volcánicos (Andosoles) y cubre una superficie de apenas 380 ha. Se localiza principalmente en la delegación Magdalena Contreras, en lo que se conoce como la cañada de Contreras o cañada de Los Dínamos; también se localiza en el Parque Nacional Desierto de los Leones y en el Parque Ecológico de la Ciudad de México, entre otros sitios con laderas abruptas y fondos de algunas cañadas, entre los 2 600 y 2 900 msnm (SMA 2009). Comúnmente se encuentra entremezclado con el bosque de encino, compartiendo muchos elementos de este tipo de vegetación. La altura de los árboles no es mayor de 25 m, cuenta con numerosas especies trepadoras leñosas y epífitas, entre las cuales se encuentran varios tipos de musgos. Las especies dominantes son *Clethra mexicana* y *Q. laurina*. Entre las trepadoras destacan *Archibaccharis hirtella* (hierba del carbonero), *Clematis dioica* (barbas de chivo, barbas de viejo, cabeza de viejo), *Philadelphus mexicanus* (filadelfo), *Smilax moranensi* (cocolmeca) y *Solanum appendiculatum* (Rzedowzki y Rzedowzki 2005).

Bosque mixto

El bosque mixto ocupa una superficie de 19 083 ha (12.9% del territorio de la ciudad), de las cuales 39% se encuentra perturbado. Se desarrolla entre los 2 300 y los 3 600 msnm, en suelos rocosos (Leptosoles líticos) o volcánicos (Andosoles húmicos o mólicos) (SMA 2009).

La principal asociación que conforma el bosque mixto es la integrada por pino-encino-aile. Las especies de pino que con mayor frecuencia se observan en este bosque mixto son *P. montezumae, P. teocote, P. leiophylla* y *P. rudis*, mientras que los encinos que se presentan son *Q. rugosa* (encino avellano), *Q. laurina* (encino jarillo), *Q. crassipes* (encino

saucillo) y *Q. obtusata* (encino amarillo), mientras que para el caso del aile es *Alnus firmifolia*. Es frecuente encontrar dentro de este bosque manchones de cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), introducidos por programas de reforestación, así como de individuos de madroño (*Arbutus* sp.) de manera aislada (SMA 2009).

Este bosque presenta una altura máxima de 22 m, con 50% de cobertura y un estrato arbustivo de 4 m de alto, con *Senecio cinerarioides* (jarilla blanca), *S. macrophyllus* con cobertura aproximada de 35% y un estrato herbáceo con el restante 15%, conformado por *Alchemilla procumbens* (chinilla, pata de león) y *Arenaria lycopodioides* (arenaria) (Silva *et al.* 1999).

En este tipo de vegetación es posible observar pequeños manchones de *Furcraea parmentieri* (palma), cuya distribución se encuentra restringida a la Faja Volcánica Transmexicana y es en el volcán Pelado y el Ajusco en donde se han registrado las poblaciones mayores de toda su área de distribución (García-Mendoza 2001).

Una de las áreas donde se ha descrito el bosque mixto es la cuenca del río Magdalena (Almeida Leñero *et al.* 2007). En esta parte de la ciudad se encuentran tres asociaciones: *A. Religiosa, Q. laurina, Q laurina, Q.rugosa, P. patula* (pino colorado) y *C. lusitanica*, esta última producto de las actividades de reforestación (Almeida-Leñero *et al.* 2007). Con excepción de la región Humedales de Xochimilco y Tláhuac, el bosque mixto se puede observar en las cinco regiones restantes establecidas para enmarcar la biodiversidad en la entidad.

Matorral xerófilo

El matorral xerófilo es característico de las condiciones de malpaís del sur de la cuenca de México y de algunas elevaciones del centro y norte de la ciudad, que presentan climas secos (SMA 2009). Se extiende hasta los 2 500 msnm, en donde se mezcla con algunos árboles aislados. Típicamente, el clima del malpaís es cálido-seco, con precipitación promedio de 700 mm, el substrato rocoso y la estructura del matorral es abierta y heterogénea. Ocupa un superficie de 2 391 ha y está presente principalmente en las regiones Sierra de Guadalupe, Sierra de Santa Catarina y Serranías de Xochimilco y Milpa Alta, dentro de las delegaciones Gustavo A. Madero, Iztapalapa , Tláhuac, Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta. Resalta en importancia el matorral de *Pittocaulon praecox* (palo loco, candelero), ya que se trata del matorral en mejor estado de conservación, que convive con *Buddleja cordata* (tepozán) y *Schinus molle* (pirul), las cuales conforman un estrato arbóreo muy disperso y abierto. El estrato arbustivo está compuesto principalmente por *Dodonea viscosa* (chapulixtle), *Montanoa tomentosa* (soapatle, pirimo blanco), *Verbesina virgata* (romerillo, gordolobo de monte), *Wigandia urens* (ortiga, chichicaste, tabaco cimarrón), *Bouvardia ternifolia* (contrahierba colorada, hierba del indio) y *Sedum oxypetalum* (siempre viva). En las sierras de Guadalupe y Santa Catarina, en el cerro de la Estrella, el cerro del Chiquihuite y otras localidades de Milpa Alta, prospera otro tipo de matorral xerófilo dominado principalmente por *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce), en donde también pueden encontrarse individuos de las especies de *Acacia schaffneri* (huizache), *Bursera cuneata* (copal), *B. fagaroides* (cuajiote verde, brea), *Ipomoea murucoides* (cazahuate), *Opuntia tomentosa* (nopal de San Gabriel), *Q. frutescens* (encino chaparro), *Tecoma stans* (tronadora), *Yucca filifera* (palma china, izote) y *Nolina parviflora* (nolina). En este matorral se registró por primera vez la presencia de un representante de la familia Meliaceae para la cuenca de México, *Cedrela dugesii*, árbol caducifolio que prospera en el matorral xerófilo de la delegación Milpa Alta, cerca del poblado de San Juan Tepenahuac (Rivera y Espinosa 2007).

Pedregal

Bajo este uso del suelo se reúnen varias áreas del territorio, cuya superficie suma 3300 ha

(2.3% del territorio de la ciudad), ubicadas sobre suelos rocosos, en zonas con precipitación más elevada que las de matorral xerófilo, con promedio anual entre 1 100 y 1 400 mm. Se encuentran asociaciones *Pinus-Quercus* y plantas carnosas de tallo suculento y jugoso, denominadas crasicaules, asociadas con árboles de los géneros *Quercus*, *Abies* o *Pinus* (SMA 2009).

Vegetación acuática y subacuática

Este tipo de vegetación se encuentra en los cuerpos de agua como canales, lagos y humedales. Ocupa una superficie de alrededor de 851 ha y se localiza en la región Humedales de Xochimilco y Tláhuac dentro de las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac. Los tipos más notables de comunidades arraigadas y emergidas son los "tulares", que alcanzan de 2 a 3 m de alto con las especies *Typha latifolia* (junco) y *Schoenoplectus tabernaemontani*. En la vegetación flotante las especies predominantes son *Lemna minuscula* (lenteja de agua), *Wolffia columbiana* (lentejilla) y *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) (Rivera y Espinosa 2007).

Vegetación urbana

Incluye a la vegetación que crece en parques y jardines, así como en huertos, calles, camellones y relictos de vegetación que prosperan en terrenos baldíos y abandonados. La superficie registrada (2 001 ha) se obtuvo a partir de los principales parques y jardines dentro del suelo urbano de la ciudad, que corresponde con la región parques y jardines urbanos, como por ejemplo los bosques de Chapultepec, Aragón, Nativitas, los parques de los Coyotes, Las Águilas, Los Venados, Viveros de Coyoacán, así como algunos clubs de golf y otros. Las especies presentes dentro de este tipo de cobertura son diversas e incluyen una amplia variedad de especies exóticas empleadas como ornato, como: *Ficus retusa* (laurel de la India), *F. elastica* (hule), *Fraxinus uhdei* (fresno), *Grevillea robusta* (roble australiano, pino de oro), *Erythrina americana* (colorín), *Jacaranda mimosaefolia* (jacaranda), *C. sempervirens* (ciprés común, ciprés mediterráneo), *Ligustrum japonicum* (trueno), *Populus alba* (álamo blanco), *Thuja occidentalis* (tuja) y *Whasingtonia robusta* (palmera de abanico). Una descripción de especies de este tipo de vegetación se encuentra en estudios realizados en la localidad (Martínez 2008, Chacalo *et al.* 2009, GDF-BID 2001, Rodríguez y Cohen 2003).

Agricultura

Las áreas agrícolas de la entidad abarcan una superficie de casi 15 200 ha, lo que representa 10.2% del territorio. Principalmente se trata de cultivos de autoconsumo, pero también se encuentran cultivos de hortalizas, plantas ornamentales y frutales (SEDEMA 2009). La zona chinampera de Xochimilco y Tláhuac, con una extensión de 2 000 ha, es un área agrícola donde prevalece la floricultura y la horticultura bajo un antiguo sistema de cultivo tradicional, con hasta cinco cosechas anuales (SMA 2009). A la orilla de los canales se encuentran diferentes especies de árboles como *S. bonplandiana* (ahuejote) y *Taxodium mucronatum* (ahuahuete, sabino), acompañados por especies introducidas como *S. babylonica* (sauce llorón), *L. lucidum* (trueno), *Araucaria heterophylla* (araucaria), *J. mimosaefolia* y *Cassuarina equisetifolia* (casuarina, pino australiano) entre otras (Garzón 2002).

Una superficie importante de la agricultura es la zona nopalera en la delegación de Milpa Alta, que cubre 1 100 ha (7% de la superficie agrícola), presenta suelos con buenos contenidos de materia orgánica (Phaeozems háplicos) y se ubica entre los 2 300 y los 2 900 msnm (SMA 2009).

Pastizales inducidos

Los pastizales inducidos, dedicados en gran parte a la ganadería, cubren una superficie de alrededor de 8 746 ha, entre los 2 500 y los

3 900 m, en suelos rocosos (Leptosoles líticos) o en los Phaeozems háplicos (suelos típicos de este uso del suelo) (SMA 2009). Se distribuyen principalmente en las regiones Bosques y Cañadas y Serranías de Xochimilco y Milpa Alta.

Zona de crecimiento urbano (zona periurbana)

A esta zona la constituyen los asentamientos humanos (tanto regulares como irregulares) que mantienen mayor dinámica de crecimiento en la ciudad y que conforman la zona periurbana, extendida en su mayor parte sobre el suelo de conservación, convirtiéndose en una seria presión para la conservación de la biodiversidad. Abarcan una superficie de 5 598 ha, lo que representa 3.7% de la superficie de la localidad y 6.4 % del territorio del suelo de conservación.

Zona urbana e infraestructura

La zona urbana ocupa una extensión de 64 378 ha (43.4% de la superficie de la ciudad). Incluye vialidades y otros tipos de infraestructura, así como sitios de importancia cultural. Aproximadamente 42% se localiza fuera de los límites del suelo de conservación, en lo que usualmente se conoce como el área urbana de la ciudad; en tanto que el porcentaje restante corresponde a las áreas urbanas comúnmente denominadas poblados rurales.

Cuerpos de agua

La superficie de los cuerpos de agua es de 522 ha. Comprende aquellas áreas que mantienen durante todo el año un espejo de agua e incluye a los cuerpos de agua artificiales de Cuemanco y el lago del bosque de Tláhuac.

Conclusión

La riqueza de ecosistemas en un espacio relativamente pequeño favorece una elevada biodiversidad, por la variedad de plantas que constituyen los estratos arbóreos arbustivos y herbáceos y por los hábitats que proporciona a las numerosas especies de fauna en la Ciudad de México; sin embargo, la superficie con algún grado de alteración en estos ecosistemas es cada vez mayor y, en consecuencia, esta riqueza biológica disminuye. El crecimiento de la mancha urbana ejerce una fuerte presión, más que nada sobre los ecosistemas ubicados en zonas planas que difícilmente podrán permanecer si no se refuerzan las medidas de protección, a través de instrumentos de gestión ambiental como la ampliación de las áreas naturales protegidas y la actualización de los programas de ordenamiento territorial.

Referencias

Aguilar, A.G. e I. Escamilla. 2011. *Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades*. IG-UNAM

Almeida-Leñero, L.A., M. Nava, A. Ramos, *et al.* 2007. Servicios ecosistémicos en la Cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica*, julio-diciembre, número especial, 84-85. SMA. México, pp. 53-64.

Chacalo, A., *et al.* 2009. *Árboles y arbustos para ciudades*. México, UAM.

Espinosa, G.R.J. de. 1979. Fagaceae (*Quercus*). En: *Flora fanerogámica del Valle de México*. Vol. 1. J. Rzedowski y G.C. de Rzedowski y G. C. de Rzedowski (eds.), México, CECSA.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Primera Actualización 2007. Roma, Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos* 103. FAO.

García-Mendoza, A. 2001. *Revisión del género Furcraea (Agavaceae)*. Tesis doctoral, FC-UNAM. México.

Garzón, L.E. 2002. *Xochimilco hoy*. Instituto de Investigaciones Dr. José Mora, Colección Proyectos Especiales. Vol. 1. México.

GDF-BID. Gobierno del Distrito Federal-Banco Interamericano de Desarrollo. 2001. *Manual técnico para el establecimiento y manejo integral de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal*. V. Lazos, M. Gonzalez y G. Bastida. (coords.). Tomo II. México.

López-Paniagua, J., J. Arévalo, J.M. Chávez y F.J. Romero. 1990. La diversidad biótica del corredor biológico Chichinautzin. *II Simposio Internacional sobre Áreas Naturales Protegidas en México*. 22-26 octubre 1990. Memorias.

Martínez, G.L. 2008. Árboles y áreas verdes urbanas de la Ciudad de México y su zona Metropolitana. México. CONABIO/Fundación Xochitla, A.C.

McVaugh, R. 1974. Fagaceae. I: Flora Nueva-Galiciana. *Contributions of University of Michigan Herbarium Ann Arbor, Michigan*. 1(3):1-93.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. 2010. *Presente y Futuro de las Áreas Verdes y del Arbolado de la Ciudad de México*. México.

Rivera-H., J.E. y A.H. Espinosa. 2007. Flora y Vegetación del Distrito Federal. Pp. 231-253. En: *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. V.J. Luna., J.J. Morrone y D. Espinosa O. (eds.). CONABIO/UNAM.

Rodríguez, S. y F. Cohen. 2003. *Guía de árboles y arbustos de la zona metropolitana de la Ciudad de México*. México. UAM/SMA.

Rzedowzki, G.C. 1978. *Vegetación de México*. México. Limusa.

Rzedowski, G.C. y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. Pátzcuaro. INECOL/CONABIO.

Silva, L. del C., F.J. Romero, A. Velázquez y L. Almeida-Leñero. 1999. La vegetación de la región de montaña del sur de la Cuenca de México. Pp. 65-92. En: *Biodiversidad de la región de la Montaña del Sur de la cuenca de México*. UAM-SMA.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2009. Memoria técnica de la Actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal.

Velázquez, A. y F.J. Romero. 1999. Biodiversidad de la Región de Montaña del Sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico. UAM/SMA. México.

Zavala Chávez, F. 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica* 8:47-64.

Patrones de distribución del uso del suelo en el occidente

Arturo García Romero

Introducción

A escala mundial se reconoce que las principales presiones a la biodiversidad están relacionadas con los procesos de cambio de uso del suelo, primordialmente debidos a la agricultura, la ganadería, la extracción forestal, el desarrollo de infraestructura y el crecimiento desordenado de las ciudades (Palacio *et al.* 2000, CEMDA 2002, PNUD 2003, OIMT 2006). En México, el impacto ha sido mayor en las selvas tropicales húmedas, aunque los bosques templados, como es el caso de los bosques de pino y de encino, también han sido objeto de pérdida y degradación de los hábitats, con los principales remanentes concentrados en las áreas de montaña (Masera *et al.* 1997, Palacio *et al.* 2000, CEMDA 2002).

La diversidad natural y cultural que caracteriza a dichas áreas se refleja en constantes y contrastados patrones del uso del suelo, siendo el relieve uno de los caracteres biofísicos que ha sido destacado como indicador del potencial de las tierras (disponibilidad de suelo, agua y estabilidad) que se requiere para el desarrollo de las actividades económicas, así como de la respuesta de los ecosistemas frente a los procesos de disturbio (Verstappen y Van Zuidam 1991, García-Romero 1998*b*, Tapia y López-Blanco 2002).

Las delegaciones del occidente de la Ciudad de México: Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras, asientan sus territorios sobre la ladera oriental de la sierra de Las Cruces, área cuyo relieve montañoso sugiere un fuerte control geomorfológico de la distribución de los patrones del uso del suelo (García-Romero 1998*b*). El objetivo del presente estudio es caracterizar y comparar los patrones del uso del suelo asociados a las distintas unidades del relieve que forman a esta región serrana del occidente de la entidad.

Para ello, se establecieron correlaciones espaciales en sistemas de información geográfica (SIG) entre dos capas: *a*) el mapa de unidades del relieve se elaboró con base en el mapa geológico de Mooser (1996) y en las unidades morfológicas y vulcano-estratigráficas de la sierra propuestas por Lugo (1990) y García-Romero (1998*a*, *b*) y; *b*) el mapa de usos del suelo, que se obtuvo mediante la clasificación supervisada de imágenes de satélite Landsat del año 2003, derivando en nueve clases de uso del suelo que difieren en el tipo y origen (natural o inducido) de la vegetación y en el tipo y la intensidad del uso del suelo. Se utilizó la regionalización que se maneja a lo largo de esta obra para contextualizar los resultados en el marco de otras aportaciones presentadas. El área en cuestión está comprendida en dos regiones: Bosques y Cañadas, Parques y Jardines Urbanos (figura 1).

García-Romero, A. 2016. Patrones de distribución del uso del suelo en el occidente. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 113-118.

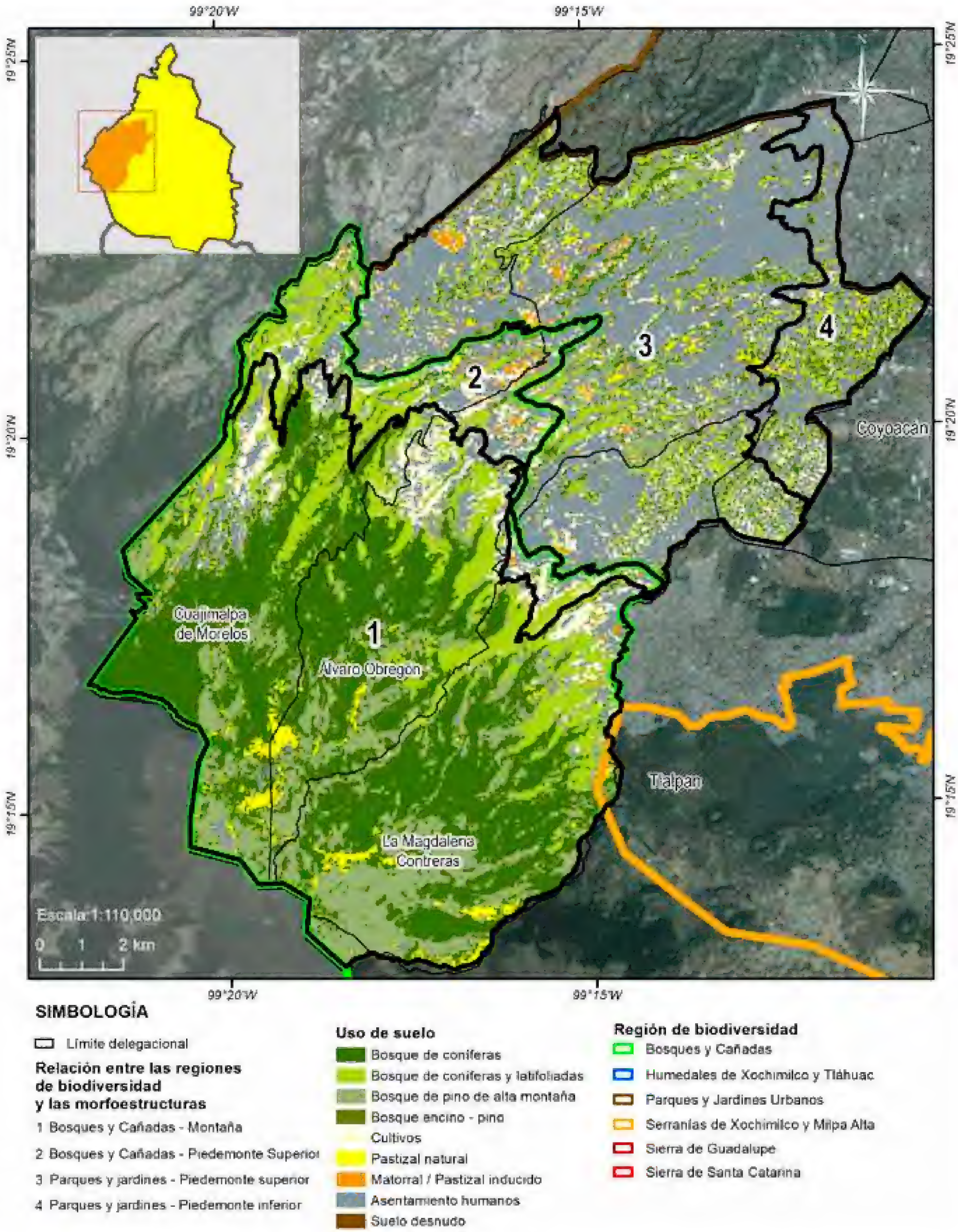


Figura 1. Distribución de los usos del suelo en el occidente de la ciudad. Se indican los límites entre las regiones Bosques y Cañadas, Parques y Jardines Urbanos. Fuente: elaboración propia.

El patrón de uso forestal y agrícola de la región Bosques y Cañadas

La mayor parte de esta región (85%) se extiende sobre los 2 700 msnm, coincidiendo con las vertientes del complejo volcánico San Miguel, estructura que marca el sector más prominente y antiguo (>5 millones de años) de la sierra. Está constituido por una serie de relieves relacionados, entre los que se encuentran laderas y plataformas culminantes coronadas por domos de lava y restos de volcanes (San Miguel, La Palma, El Triángulo y El Muñeco) que alcanzan los 3 800 msnm (Mooser 1996).

Por debajo de los 3 400 msnm los bordes del complejo forman vertientes de fuerte declive que se adaptan a las superficies de los materiales volcánicos, principalmente flujos piroclásticos de las últimas erupciones del volcán San Miguel, datados en 17 mil años (Lugo 2011). Algunas cimas como El Ocotal, Cruz Blanca y Santa Rosa corresponden a los restos de antiguos domos de lava y volcanes destruidos por las erupciones, eventos de colapso y erosión (García-Romero 1998*a*).

El desnivel topográfico (>1 200 m) permite una drástica transición de los climas de montaña y la formación de distintos pisos bioclimáticos (García-Romero 1998*b*). El bosque de coníferas (*Abies religiosa, Pinus ayacahuite, P. leiophylla* y *P. montezumae*) es el más representativo (51% del total del complejo volcánico), seguido del bosque de pino de alta montaña (*Pinus hartwegii*) (25%) que comparte piso (>3 400 msnm) con los pastizales de montaña (3%). El bosque de coníferas y latifoliadas (*Pinus montezumae, P. pseudostrobus, Quercus rugosa, Q. mexicana, Alnus jorullensis* y *A. acuminata*), que se distribuye sobre los 2 800 msnm, está escasamente representado en esta región (13%) (cuadro 1).

El embate de los climas cambiantes del Cuaternario favoreció la erosión fluvial y la

Cuadro 1. Superficies y porcentajes de distribución de los usos del suelo en el occidente, según unidades del relieve y regiones para el diagnóstico de la biodiversidad.

Usos y cubiertas del suelo	Total		Bosques y Cañadas				Parques y Jardines Urbanos			
	Occidente		Complejo volcánico		Piedemonte volcánico		Piedemonte volcánico		Piedemonte Detrítico-acumulativo	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Vegetación Natural										
B. Pino de alta montaña	2 981.1	12.9	2 981.1	25.0						
B. Coníferas	6 307.7	27.3	6 104.5	51.2	203.2	9.7				
B. Coníferas y latifol.	2 664.9	11.5	1 561.3	13.1	625.5	29.9	478.1	6.3		
B. Encino / pino	1 928.2	8.3			237.1	11.3	1 316.7	17.4	374.3	24.5
Pastizal natural	397.4	1.7	397.4	3.3						
Total	14 279.3	61.8	11 044.3	92.6	1 065.9	50.9	1 794.8	23.7	374.3	24.5
Vegetación cultivada e inducida										
Cultivos	1 527.0	6.6	504.3	4.2	360.4	17.2	662.4	8.8		
Matorral/Pastizal induc.	979.9	4.2	35.9	0.3	98.9	4.7	576.1	7.6	268.9	17.6
Total	2 506.9	10.8	540.2	4.5	459.3	21.9	1 238.5	16.4	268.9	17.6
Sin vegetación										
Asentamiento humano	6 159.9	26.7	332.8	2.8	561.3	26.8	4 406.6	58.3	859.2	56.3
Suelo desnudo	160.2	0.7	6.5	0.1	7.3	0.3	121.6	1.6	24.8	1.6
Total	6 320.1	27.4	339.3	2.8	568.6	27.2	4 528.2	59.9	883.9	57.9
Total occidente de la ciudad	23 106.3		11 923.8		2 093.8		7 561.4		1 527.2	

Fuente: elaboración propia.

formación de profundos barrancos que incrementaron la irregularidad de los relieves volcánicos. La inaccesibilidad resultante ha limitado el avance de la frontera agrícola y la expansión urbana al interior de esta región, al tiempo que ha favorecido la permanencia de un patrón del uso del suelo forestal, caracterizado por formaciones de bosque y pastizal natural que cubren 93% de la superficie. Sólo 5% ha sido transformada en campos de cultivo, matorrales y pastizales inducidos, en tanto que 2.8% corresponde al uso habitacional en pueblos como San Lorenzo Acopilco y San Pablo Chimalpa, ubicados en la delegación Cuajimalpa, y Santa Rosa Xochiac, en Álvaro Obregón (figura 1).

Por debajo de los ~2 700 msnm, una estrecha franja de esta región alcanza las laderas más altas del piedemonte volcánico de la sierra. El patrón del uso del suelo es forestal-agrícola, con la mayor parte de la superficie aun cubierta por formaciones forestales (51%). A diferencia de las laderas altas, los bosques de coníferas y latifoliadas son la vegetación natural más representativa (30%), seguida muy por debajo por boques de encino-pino 11% (*Quercus laeta, Q. crassipes, Q. obtusata, Q. rugosa, Q. mexicana, Arbutus xalapensis* y *Pinus* spp.) (11%); y algunos bosques de coníferas (10%) en el interior de los principales barrancos (García-Romero 1998*b*).

Si bien las actividades agrícolas se han concentrado tradicionalmente en el entorno de pequeños pueblos rurales como San Mateo Tlaltenango, ubicado en la delegación Cuajimalpa, y San Bartolo Ameyalco, en Álvaro Obregón, a partir de la segunda mitad del siglo pasado la sustitución de usos del suelo ha sido favorable a la expansión de los cultivos y asentamientos humanos que en la actualidad representan 17 y 27% de este sector alto del piedemonte, suponiendo importantes pérdidas a la biodiversidad de los bosques de coníferas y latifoliadas (García-Romero 1998*b*).

El patrón de uso urbano y agrícola de la región Parques y Jardines Urbanos

En esta región, 83% se distribuye entre 2 500 y 2 700 msnm, sobre un piedemonte de carácter volcánico constituido por enormes volúmenes de vulcanoclastos (cenizas de andesita y pómez fina, flujos piroclásticos, lahares e ignimbritas), además de pequeños cuerpos dómicos y derrames lávicos que fueron dislocados por la tectónica durante el Plio-Pleistoceno (Mooser 1996).

La erosión posterior de la rampa se llevó a cabo por intensos procesos fluviales que derivaron en una repetida secuencia de barrancos paralelos y encajados, separados por lomas de superficie amplia (García-Romero 1998*a*, Lugo 2011). En el conjunto destaca el llamado cerro del Judío (delegación Magdalena Contreras), antigua estructura volcánica que resultó parcialmente sepultada por los materiales volcánicos y sedimentos del Plioceno superior y el Cuaternario (García-Romero 1998*a*).

Durante el Cuaternario ocurrió una intensa acumulación de sedimentos de origen fluvial que, por debajo de los 2 500 msnm, permitió el desarrollo de un piedemonte de carácter detrítico-acumulativo en la base de la sierra. Entre las causas están la escasa resistencia mecánica de algunas de las formaciones vulcanoclásticas, los cambios climáticos contrastantes del Pleistoceno y la formación hace 690 mil años de la vecina sierra de Chichinautzin, que limitó la evacuación de sedimentos (Lugo 1990, García-Romero 1998*a*, *b*).

En el cuadro 1 se muestra que el patrón de los usos del suelo es muy semejante entre los piedemontes volcánico y detrítico-acumulativo, reflejando el control de los procesos de urbanización en la conformación de un patrón de uso del suelo único para todo el piedemonte de la vertiente serrana. El proceso de ocupación humana fue tan intenso que más de la mitad del área resultó urbanizada en menos de 50 años, con el piedemonte volcánico ocupado en 58% de su superficie por asentamientos

humanos y tan sólo 16% por cultivos y matorrales/pastizales inducidos.

Por su parte, el área forestal quedó reducida a fragmentos confinados en el interior de algunas barrancas como Los Jazmines, Tecamachalco, Tacubaya, La Piedad, Santo Desierto, Puerta Grande, San Ángel Inn y San Ángel, así como la cima del cerro del Judío, cubriendo en su conjunto 24% del total del piedemonte volcánico, siendo en su mayor parte bosques de encino (*Quercus crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. laeta* y *Q. obtusata*) o reforestaciones (17%), con algunos bosques de coníferas y latifoliadas (6%) en los sectores más altos de la rampa.

La diversidad litológica y de resistencia de los materiales intensamente afectados por la tectónica, aunado al alto valor de las precipitaciones, los aportes hídricos provenientes de la montaña y las deforestaciones que alcanzan 75% de la superficie permiten suponer una notable fragilidad en el conjunto de las vertientes. No obstante esta situación calificada ya como de franca regresión ecológica (García-Romero 1998*b*), es de destacar la notable resistencia al disturbio de los encinares remanentes, elemento de gran importancia en la conservación de la biodiversidad en la base de la sierra.

Conclusión

La distribución de los usos del suelo deja ver la existencia de cuatro patrones que se adaptan a la distribución de las principales unidades del relieve que forman la región de montaña del occidente de la Ciudad de México. En la región Bosques y Cañadas (>2 700 msnm), el patrón de uso del suelo es forestal en el complejo volcánico, aunque con mayor incidencia de la agricultura sobre las laderas más altas del piedemonte de la sierra. En cambio, en la región Parques y Jardines Urbanos, cuyo territorio comprende los dos sectores (volcánico y detrítico-acumulativo) del piedemonte de la sierra, el patrón de uso del suelo urbano y agrícola se mantiene básicamente constante, con más de la mitad de su superficie integrada al área urbana del occidente de la ciudad.

En dicha región, las consecuencias de la deforestación se incrementan, ya que una gran parte de los bosques remanentes ha sido reducida a pequeños fragmentos aislados y replegados en el interior de los barrancos. Los efectos conocidos de la fragmentación del hábitat permiten suponer importantes impactos en la biodiversidad, no tanto por pérdida de especies como por cambios en la estructura de las comunidades. Estos cambios son muy evidentes en los estratos del sotobosque —incluyendo al renuevo forestal— que se encuentran enrarecidos o no existen, situación que afecta a importantes procesos ecológicos como los ciclos de nutrientes y la dinámica de las comunidades, su sensibilidad y su capacidad de regeneración y de respuesta frente al disturbio.

Referencias

CEMDA. Centro Mexicano de Derecho Ambiental. 2002. *Deforestación en México. Causas económicas: incidencia del comercio internacional*. CEMDA, México.

García-Romero, A. 1998*a*. Organización morfoestructural y evolución geomorfológica de la vertiente oriental de la sierra de Las Cruces/Monte Alto (occidente de la Ciudad de México). En: *Investigaciones recientes de la geomorfología española*, A. Gómez y F. Salvador (eds.). Universitat de Barcelona, Barcelona, pp. 39-46.

——. 1998*b*. Análisis integrado de paisajes en el occidente de la Cuenca de México. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

Lugo, J.I. 1990. Mapa geomorfológico del occidente de la Cuenca de México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM 21.

Lugo, J.I. 2011. Diccionario geomorfológico, Col. Geografía para el siglo XXI, *Serie Textos Universitarios 7* Instituto de Geografía. UNAM, México.

Masera, O.R., M.J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *ClimateChange* 24:256-295.

Mooser, F. 1996. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, tectónicaregional y aspectos geotérmicos. Comisión Federal de Electricidad, México.

OIMT. Organización Internacional de las Maderas Tropicales. 2006. Estado de la ordenación de los bosques tropicales 2005. *Informe de síntesis*. OIMT, Tokio.

Palacio, J.L., G. Bocco, A. Velázquez, *et al*. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal nacional 2000. *Investigaciones Geográficas* 43:183-203.

PNUD. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. 2003. GEO América Latina y El Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente 2003. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (pnuma), San José, pp. 53-61.

Tapia, G. y J. López-Blanco. 2002. Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 19(1):50-65.

Verstappen, H.T. y R.A. Van Zuidam. 1991. *The ITC system of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards*. ITC, Holanda.

Expansión urbana y reemplazo del hábitat natural

Manuel Suárez Lastra

Introducción

El propósito de este capítulo es identificar los espacios de hábitat natural que serían transformados a suelo urbano como consecuencia del fenómeno de expansión de la Ciudad de México hacia el año 2020. El análisis se hace bajo el supuesto de que el poblamiento de las delegaciones periféricas se llevará a cabo en nuevas áreas urbanas y que éstas se desarrollarán en las densidades de población actuales de cada delegación.

La expansión urbana es uno de los resultados del crecimiento poblacional y económico de una ciudad. Sin embargo, la forma en la que una ciudad crece físicamente no es única. Así, es importante conocer bajo qué condiciones una ciudad se expandirá y de qué manera. El fenómeno suele suceder sobre áreas agrícolas aledañas a la ciudad o sobre suelo que es considerado hábitat natural (Suárez y Delgado 2007*a*), es decir, aquel que no ha sido seriamente modificado por la actividad humana. Aun cuando el crecimiento urbano sucede en suelo agrícola, existe un impacto indirecto sobre el suelo de hábitat natural. A medida que el suelo urbano reemplaza al agrícola, este último tendrá, a su vez, que expandirse hacia otras áreas naturales; en el caso de la Ciudad de México, bosques y pastizales principalmente. Los anteriores cambios de uso de suelo conllevan un conjunto de afectaciones, ya que se disminuye el área potencial de recarga del acuífero, y de áreas que son el entorno natural de un gran número de especies de animales y plantas.

Mediante escenarios de poblamiento y expansión es posible saber cuáles áreas son las más vulnerables a la expansión urbana, conocer los riesgos a los que se enfrentan las áreas naturales de la ciudad y actuar mediante la implementación efectiva de planes de conservación y la aplicación de medidas de crecimiento urbano ordenado.

Este trabajo está dividido en cinco secciones. En la primera se hace un breve esbozo de estudios que han medido el cambio de uso de suelo y sobre los efectos potenciales que la expansión urbana puede tener sobre la biodiversidad. En la segunda, se hace un recuento del crecimiento poblacional y la expansión urbana de la ciudad y se presentan las proyecciones de población al año 2020. En la tercera sección se describen las fuentes de datos empleados en el análisis cuya metodología se explica en la cuarta sección. En la cuarta sección se exponen los resultados del análisis y, finalmente, en la quinta se presentan las conclusiones del estudio.

Efectos ecológicos de la expansión urbana

A medida que una ciudad se expande, reemplaza las áreas naturales que la rodean, disminuyendo su superficie y rompiendo con el

Suárez-Lastra, M. 2016. Expansión urbana y remplazo del hábitat natural. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 119-126.

equilibrio natural de los ecosistemas circunvecinos, lo cual puede impactar su biodiversidad.

Diversos estudios han ligado el crecimiento urbano con la pérdida de biodiversidad. Según McDonald y colaboradores (2008), a nivel mundial, la urbanización es la causa de que 8% de las especies de vertebrados y 3% de las especies raras estén enlistadas en la categoría de peligro de extinción de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés). De acuerdo con Thomas y colaboradores (2004), 18% de las especies en peligro de extinción pueden atribuirse al cambio climático. Habría que notar que las actividades que se llevan a cabo en las urbes aportan una gran parte de los efectos antropogénicos sobre ese fenómeno.

No todos los tipos de crecimiento poblacional y urbano tienen el mismo impacto sobre los sistemas naturales. Por ejemplo, el crecimiento poblacional no necesariamente tiene que ir acompañado de expansión si éste ocurre en áreas ya urbanizadas, es decir, densificando el área urbana existente. En ese caso, el impacto sobre los sistemas naturales será menor que cuando el área urbana crece. Cuando sí ocurre la expansión, los impactos serán de magnitudes distintas dependiendo de la densidad a la que ésta ocurre (Thomas *et al.* 2004, Suárez y Delgado 2007*a*). Con la planeación adecuada se pueden generar menores impactos, por ejemplo, mediante planes que contemplen la construcción de edificios en lugar de casas, así como usos mixtos (comercio en los niveles inferiores, oficinas en los pisos medios y residencias en los pisos superiores). Lo anterior permite reducir el área de expansión, así como los tiempos de traslado a diferentes actividades. Esta forma de crecimiento promueve la eficiencia del sistema urbano generando accesibilidad (Suárez y Delgado 2007*a*).

De acuerdo con Thomas y colaboradores (2004), el desarrollo compacto y de mayor densidad genera un menor impacto sobre la distribución de las especies de flora y fauna a causa de los cambios de uso de suelo. En el modelo de simulación utilizado por Eppink y colaboradores (2004), que integra usos de suelo, cambios en la biodiversidad y factores sociales, se generaron diversos escenarios de crecimiento urbano para simular los impactos directos e indirectos de la urbanización sobre la biodiversidad. En ese estudio, aplicado a la expansión urbana sobre humedales, se encontró que el crecimiento de baja densidad tiene el mayor impacto negativo sobre el número de especies de plantas y animales porque transformaba su hábitat. El mismo estudio encontró que el crecimiento de mayor densidad que ocurre en las áreas ya urbanizadas también tiene un impacto sobre la biodiversidad pero de manera indirecta. Este tipo de impacto indirecto es principalmente atribuible a una mayor extracción de agua que deviene en la pérdida de la abundancia relativa de especies de animales y plantas (Magurran 1988).

Crecimiento urbano

La Ciudad de México cuenta con un área de 148 mil hectáreas y una población, en 2005, de 8.7 millones (INEGI 2005), de la cual 99.6% es considerada población urbana. Esta población ocupa un área de 79 533 ha si se toman en cuenta aquellas que el INEGI considera áreas urbanas (áreas urbanas estadísticas, AGEBS). Con la información presentada anteriormente es posible calcular una densidad poblacional urbana promedio de 108 hab/ha. Las delegaciones más densas son las cuatro centrales (Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza), junto con Iztapalapa, Azcapotzalco y Magdalena Contreras (si sólo se considera su área urbana), mientras que las delegaciones menos densas son las del sur y suroeste, especialmente Xochimilco, Milpa Alta y Cuajimalpa.

Entre 1930 y 1950, la ciudad creció a una densidad urbana promedio de 114 hab/ha para alcanzar un área de poco más de 28 mil ha. Desde su consolidación como metrópolis en la

década de los cincuenta, ha estado en constante expansión. Para 1970 la ciudad alcanzó un promedio de 121 hab/ha en un área urbana de cerca de 74 mil ha. En este periodo, la delegación Cuauhtémoc alcanzó una densidad bruta de cerca de 240 hab/ha (Delgado 1988).

La construcción del periférico y de otras obras viales que impulsaron el uso masivo del automóvil permitieron que fuese viable la incorporación de los municipios del Estado de México a la zona metropolitana pues, en ese momento, por el bajo congestionamiento, el automóvil reducía los tiempos de traslado. Las densidades de la ciudad central comenzaron a disminuir y la expansión dejó de corresponder al crecimiento poblacional (Cruz Rodríguez 2001). La expansión urbana que se ha presentado en la periferia de la ciudad en los últimos 30 años es cada vez más ineficiente debido a que cada habitante ocupa cada vez más espacio urbano (Suárez y Delgado 2009).

Aunque el crecimiento poblacional en los últimos 15 años ha sido mínimo, la presión sobre el área no urbana y el suelo de conservación hacia el sur y el poniente de la ciudad sigue latente. Esto se debe a que los usos de suelo habitacional de la ciudad central han sido paulatinamente reemplazados por usos económicos, lo que a su vez ha generado una expulsión de la población del centro de la ciudad que se ha visto en la necesidad de relocalizarse en lugares cada vez más alejados (Suárez y Delgado 2007*a*, 2007*b*). De acuerdo con las proyecciones de población, este patrón continuará para el año 2020. Tres de las cuatro delegaciones centrales, así como Azcapotzalco, Coyoacán, Gustavo A. Madero e Iztacalco, perderán en su conjunto poco más de 330 mil habitantes. Adicionalmente, la Ciudad de México ganará cerca de 80 mil habitantes urbanos en total (cuadro 1). Lo anterior significa que la ciudad requerirá espacio para acomodar a cerca de 410 mil habitantes, lo cual implicará unas 100 mil viviendas nuevas, considerando el actual número de habitantes por vivienda. De no densificar el área urbana actual, no habrá otro camino más que el de reemplazar el suelo agrícola y de conservación de la ciudad, de lo cual no ha estado exento en el pasado cercano.

Según Aguilar (2008), en 2005 existían 2 029 ha de asentamientos irregulares en el suelo de conservación, de los cuales poco más de la mitad ya existían en 1990. Aunque el incremento en la superficie ocupada es cada vez menor, la tendencia a ocupar suelo de conservación continúa.

Método de estudio

Se utilizó cartografía digital del INEGI para los años 1990 y 2000, además de clasificaciones de uso de suelo hechas a partir de imágenes LANDSAT para el 2000. La información socioeconómica proviene de los censos de

Cuadro 1. Cambio poblacional de 2000-2020.

Delegación	Población urbana			
			Cambio	
	2000	2020	(Unidades)	%
Azcapotzalco	441 008	396 618	-44 390	-10.1
Coyoacán	640 423	598 304	-42 119	-6.6
Cuajimalpa	149 743	208 642	58 899	39.3
G.A. Madero	1 235 542	1 090 342	-145 200	-11.8
Iztacalco	411 321	364 292	-47 029	-11.4
Iztapalapa	1 773 343	1 825 146	51 803	2.9
Contreras	221 645	233 803	12 158	5.5
Milpa Alta	90 772	142 962	52 190	57.5
Á.Obregón	686 807	706 498	19 691	2.9
Tláhuac	301 317	405 479	104 162	34.6
Tlalpan	57 6 172	606 021	29 849	5.2
Xochimilco	364 647	440 551	75 904	20.8
B. Juárez	360 478	36 0 114	-364	-0.1
Cuauhtémoc	516 255	522 270	6 015	1.2
M.Hidalgo	352 640	350 431	-2 209	-0.6
V.Carranza	462 806	412 855	-49 951	-10.8
Ciudad de México	8 584 919	8 664 328	79 409	0.9

Fuente: elaborado por autor con información de INEGI 2000 y Partida 2008.

población y vivienda de 1990 y del 2000, así como de los censos económicos de 1989 y 1999 a nivel de AGEB urbano. Fue necesario recurrir a estas fuentes de datos ya que a medida que se realizaba este trabajo, los datos del censo del 2010 aún no estaban disponibles y los del conteo de población del 2005 carecen de la información necesaria para generar los modelos que se emplean. Adicionalmente se utilizaron las proyecciones de población municipal del Consejo Nacional de Población (CONAPO) (Partida 2008).

La modelación y generación de escenarios de expansión urbana tienen diversas vertientes. Distintos estudios han utilizado técnicas de percepción remota (Xiaoy colaboradores 2006) o de percepción remota y modelación estocástica mediante cadenas de Markov (Weng 2002). También se han empleado modelos con autómatas celulares (Wu y Martin 2002, White y Engelen 1997). Las técnicas de percepción remota están basadas en análisis realizados con imágenes de satélite y la modelación estocástica permite replicar un comportamiento observado previamente añadiendo un factor de aleatoriedad. Por su parte, la modelación mediante autómatas celulares permite estimar el crecimiento en distintos lugares a partir de una serie de "reglas" generadas a partir de la observación del fenómeno.

En este caso, para generar el escenario de expansión urbana hacia el 2020, se utilizó la técnica desarrollada por Landis y Reilly (2003) que ha sido depurada para la ciudad por Suárez y Delgado (2007*b*). Ésta consiste en tres pasos que se explican a continuación: en el primer paso, se generó un modelo estadístico que predice la probabilidad de que un sitio (una determinada hectárea) en el área de estudio se urbanice entre dos periodos observados (1990-2000). Las variables predictivas incluyeron diversas características de cada sitio: la distancia a vías de transporte, la distancia al área urbana más cercana, si el uso de suelo era agrícola y la pendiente, en el año base del modelo (1990). Se compararon diversos modelos hasta obtener el más robusto que además cumpliera con el principio de parsimonia. Este principio enfatiza que si dos modelos logran la misma explicación se debe elegir el más sencillo (Soklakov 2002). Una vez que se obtuvo el modelo final, se generó un mapa con valores predichos de probabilidad de urbanización para todos los sitios no urbanos del área de estudio. El método opera bajo el supuesto de que las probabilidades relativas de urbanización de cada sitio no-urbano se mantienen sin cambio en un periodo de 20 años.

En el segundo paso, se generó un escenario de densidad de poblamiento que supone que las nuevas áreas urbanas se urbanizarán al promedio urbano actual de cada delegación. Utilizando las proyecciones de población de CONAPO (Partida 2008), se estimaron los requerimientos de nueva área urbana de cada delegación para el 2020 mediante la multiplicación del escenario de densidad y la población proyectada.

Finalmente, para asignar el crecimiento se utilizó el mapa de probabilidades de urbanización. A cada delegación se le asignaron nuevas áreas urbanas en aquellas hectáreas que tenían los valores más altos de probabilidad de urbanización. El resultado de esta operación es un mapa con las nuevas áreas urbanas bajo el escenario de densidad urbana propuesto. La asignación se realiza bajo el supuesto de que no existen restricciones al crecimiento urbano.

Para estimar el cambio de uso de suelo, se generaron matrices antes-después mediante la superposición de la información cartográfica de uso de suelo urbano, tanto en el periodo observado (1990-2000) como en el periodo predicho (2000-2020).

Resultados

Los resultados del modelo logístico se presentan en el cuadro 2. El modelo muestra, como sería esperado, que en las cercanías a vías de transporte la probabilidad de urbanización

aumenta, al igual que en la cercanía a localidades urbanas más grandes. En términos generales, el modelo indica que las áreas no agrícolas (bosques y pastizales) son más propensas a ser urbanizadas que las áreas agrícolas, aunque éste posiblemente sea un parámetro que cambie dependiendo de la zona de la ciudad. Finalmente, a medida que la pendiente aumenta, la probabilidad de urbanización disminuye. De acuerdo con el estadístico Exp(B) (cuadro 2), esta variable resulta ser la más importante del modelo. Esto se debe, probablemente, a que conforme la pendiente aumenta, los costos de construcción también se incrementan.

La figura 1 y el cuadro 3 muestran los resultados de la asignación de nuevas zonas de crecimiento urbano hacia el 2020 por tipo de suelo, reemplazado bajo el escenario de expansión propuesto. Los resultados muestran las áreas más propensas a ser urbanizadas de no implementarse restricciones efectivas a la construcción.

Si se asigna el crecimiento poblacional a nuevas áreas urbanas de la ciudad, considerando una densidad de urbanización promedio igual a la actual densidad de cada delegación, la expansión urbana equivaldría a 6 798 ha.

Cuadro 2. Modelo logístico binomial, probabilidad de urbanización por hectárea.

		Error		
Variable	Coeficiente	Estándar	Exp(B)	
Distancia a vías de transporte	-0.46	0.11	0.63	***
Distancia a la localidad urbana más cercana	-0.91	0.07	0.40	***
Suelo agrícola	-0.5	0.14	0.61	***
Pendiente	-0.15	0.03	0.86	***
Constante	1.56	0.16	4.76	
R2(Nagelkerke)=0.43, *** sig<0.001				
Fuente: elaboración propia.				

Cuadro 3. Cambio de área y densidad urbana por delegación de para el periodo 2000-2020.

	Área urbana			%	Densidad (Hab/Ha)		
Delegación	2000	2020	Expansión	Cambio	2000	2020	Cambio
Azcapotzalco	3 374	3 374	0	0	130.7	117.6	-13.2
Coyoacán	5 391	5 391	0	0	118.8	111.0	-7.8
Cuajimalpa	3 361	4 683	1 322	39	44.6	44.6	0
G.A. Madero	8 805	8 805	0	0	140.3	123.8	-16.5
Iztacalco	2 318	2 318	0	0	177.5	157.2	-20.3
Iztapalapa	11 347	11 678	331	3	156.3	156.3	0
Contreras	1 902	2 006	104	5	116.6	116.6	0
Milpa Alta	2 865	4 512	1 647	57	31.7	31.7	0
Á. Obregón	7 009	7 210	201	3	98.0	98.0	0
Tláhuac	3 837	5 164	1 327	35	78.5	78.5	0
Tlalpan	8 816	9 273	457	5	65.4	65.4	0
Xochimilco	6 586	7 957	1 371	21	55.4	55.4	0
B. Juárez	2 653	2 653	0	0	135.9	135.7	-0.1
Cuauhtémoc	3 248	3 248	0	0	159.0	158.9	0
M. Hidalgo	4 644	4 644	0	0	75.9	75.5	-0.5
V. Carranza	3 378	3 378	0	0	137.0	122.2	-14.8
Ciudad de México	79 533	86 331	6 798	9	107.9	100.4	-7.6

Fuente: elaboración propia.

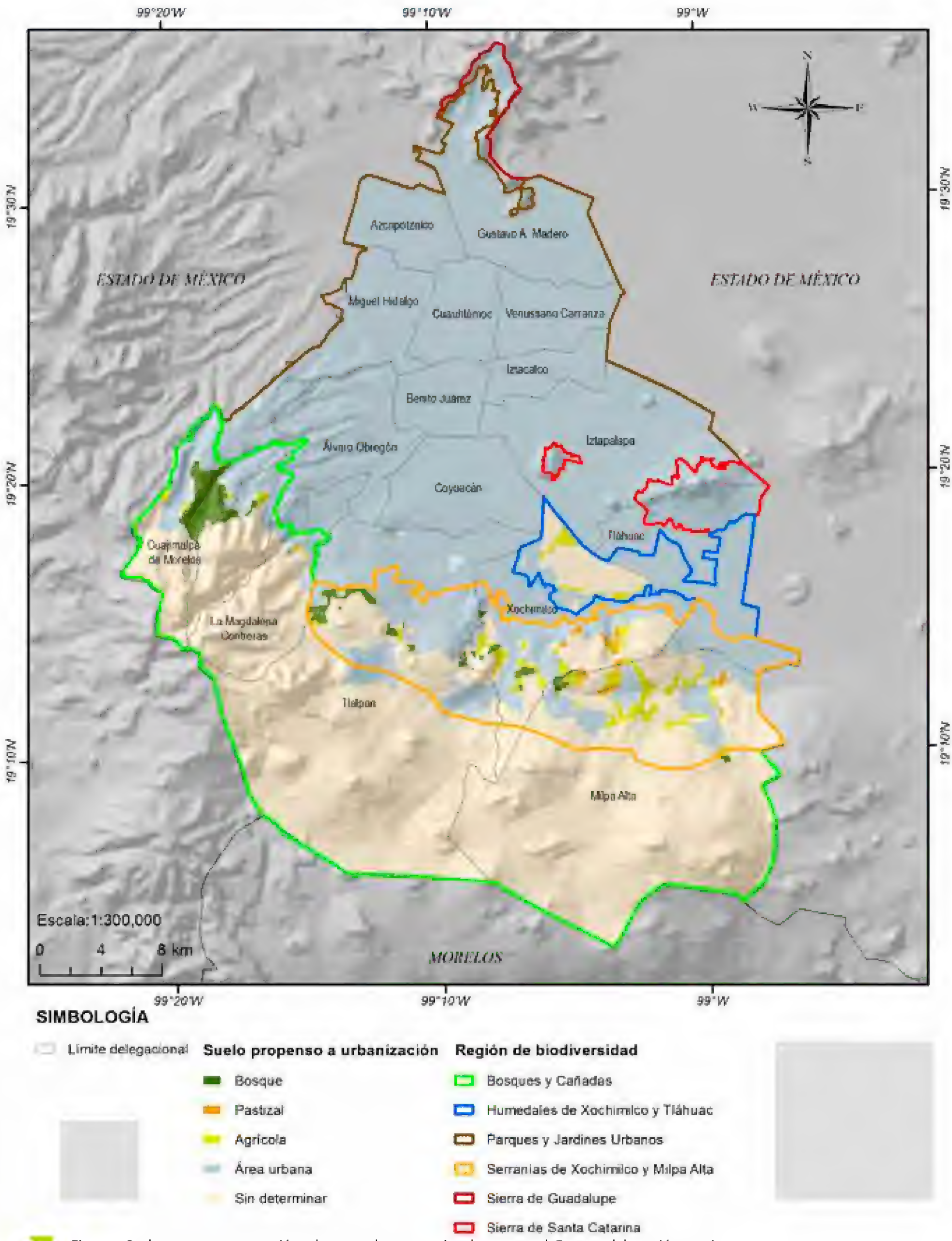


Figura 1. Suelo propenso a expansión urbana en el 2020 por tipo de uso actual. Fuente: elaboración propia.

Esta nueva área urbana representaría 10% de la nueva urbanización de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) que, utilizando los mismos criterios, ascendería a 62 500 ha. Las delegaciones con mayor crecimiento urbano serían Milpa Alta (1 647 ha), Xochimilco, Tláhuac y Cuajimalpa (todas cercanas a 1 300 ha de nueva área urbana). El resto de las delegaciones con crecimiento urbano crecen entre 200 y 450 ha cada una.

Es importante notar que las delegaciones con mayor expansión tienen las densidades urbanas más bajas que, a excepción de Tláhuac, son menores de 50 hab/ha, lo cual es una densidad por demás subóptima. Ante este escenario, la densidad poblacional de la ciudad disminuiría de 108 hab/ha a cerca de 100 hab/ha para el 2020.

En el escenario de urbanización modelado, los suelos remplazados por el crecimiento urbano serían suelos agrícolas, de bosque y pastizales. El cuadro 4 muestra la superficie reemplazada por la urbanización generada en el escenario por tipo de suelo, tanto para la ciudad como para la ZMCM en su conjunto. Un 58% del área urbana nueva en el año 2020 reemplazaría a áreas agrícolas, la tercera parte a bosques y poco menos de 10% a pastizales. Si se compara ese cambio con la metrópolis, es notoria la afectación que el tipo de crecimiento poblacional proyectado pudiera tener sobre el área de bosques del poniente de la ciudad.

Respecto a las Regionalización para el Diagnóstico de la Biodiversidad de la ciudad, la nueva urbanización se llevará a cabo, principalmente, en las Serranías de Xochimilco y Milpa Alta (52%), en Bosques y Cañadas (25%) y, en menor medida, en las áreas de Humedales de Xochimilco y Tláhuac (15%).

Cuadro 4. Uso de suelo que reemplaza el crecimiento urbano hacia el 2020.

	Ciudad de México. (%)	ZMCM (%)
Pastizal	9	12
Area agrícola	58	79
Bosque	33	6
Matorral	0	1

Fuente: elaboración propia.

Conclusión

De acuerdo con el escenario tendencial proyectado, la expansión urbana de la Ciudad de México al año 2020 podría alcanzar cerca de 6 700 ha. Esta expansión reemplazará primordialmente áreas agrícolas, bosques y pastizales, lo cual puede tener un impacto sobre la biodiversidad, adicional al impacto del crecimiento poblacional *per se*, debido al reemplazo del hábitat natural. Cabe señalar que faltaría modelar el espacio adicional en el que se expandirían las áreas agrícolas al perder espacio por la urbanización. Sin embargo, existen otros escenarios que podrían ser producto de la planeación y la implementación efectiva de políticas de desarrollo urbano.

Si en lugar de que el crecimiento poblacional suceda a las densidades delegacionales actuales, sucediese al promedio de la ciudad en el 2000 (108 hab/ha), la expansión urbana alcanzaría sólo 3.8 mil ha, poco menos de 56% del crecimiento proyectado. Si además se implementaran políticas para evitar la pérdida de población de las áreas centrales y la expansión se diera al promedio de densidad del 2000, el crecimiento urbano alcanzaría solamente 721 ha, cerca de la décima parte de la expansión proyectada.

Para ello, es necesario regular el crecimiento e implementar políticas eficientes de crecimiento urbano. Entre las políticas posibles están los usos de suelo mixto, la generación de nodos de accesibilidad mediante el transporte público de alta capacidad y la construcción en densidades mínimas en lugar de sólo regular topes de densidad. Finalmente, habrá que tomar en cuenta que no es suficiente proteger a las áreas naturales del crecimiento urbano (Brooks *et al.* 2004), también es indispensable reducir la presión de las áreas urbanas sobre éstas (Ervin 2003).

Referencias

Aguilar, A.G. 2008. Peri-urbanization, illegal settlements and environmental impact in Mexico City. *Cities* 25:133-145.

Brooks, T., M. Bakarr, T. Boucher, *et al.* 2004. Coverage provided by the global protected-area system: is it enough?. *Bioscience* 54:1081-1091.

Cruz Rodríguez, M.S. 2001. *Propiedad, poblamiento y periferia rural en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.* Puebla. México. Programa Editorial de la Red de Investigación Urbana/uam-a.

Delgado, J. 1988. El patrón de ocupación territorial de la Ciudad de México al año. 2000. En: *Estructura territorial de la Ciudad de México.* O. Terrazas y E. Preciat. México. Plaza y Valdez.

Eppink, F.V., J.C. J.M.van den Bergh y P. Rietveld. 2004. Modelling biodiversity and land use: urban growth, agriculture and nature in a wetland area. *Ecological Economics* 51(3-4):201-216.

Ervin, J. 2003. Rapid assessment of protected area management effectiveness in four countries. *Bioscience* 53:833-841.

inegi. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1990. XI Censo de población y vivienda 1990. Aguascalientes.

——. 2000. XII Censo de población y vivienda 2000. Base de datos de la muestra. Aguascalientes.

——. 2005. II Conteo de población y vivienda 2005. Aguascalientes.

Landis, J. y M. Reilly. 2003. How We Will Grow: Baseline Projections of the Growth of California's Urban Footprint through the Year 2100,UC Berkeley: Institute of Urban and Regional Development. En: *<http://escholarship.org/uc/item/8ff3q0ns>*, última consulta: 10 de diciembre de 2015.

Magurran, A.E. 1988. E*cological Diversity and its Measurement.* Londres. Croom Helm.

McDonald, R.I., P. Kareiva y R.T.T. Forman. 2008. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation* 141(6):1695-1703.

Partida, V. 2008. Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades 2005-2050. Consejo Nacional de Población. (conapo), México.

Soklakov, A. N. 2002. Occam's razor as a formal basis for a physical theory. *Foundations of Physics Letters* 15(2):107-135.

Suárez, M. y J. Delgado. 2007*a*. Estructura y eficiencia urbanas. Accesibilidad a empleos, localización residencial e ingreso en la zmcm 1990-2000. *Economía Sociedad y Territorio* VI(23):693-724.

——. 2007*b*. La expansión urbana probable de la Ciudad de México. Un escenario pesimista y dos alternativos para el año 2020. *Estudios Demográficos y Urbanos* 22 (1):101-142.

——. 2009. Is Mexico City Polycentric? A trip attraction capacity approach. *Urban Studies* 46(10):2187-221.

Thomas, C.D. *et al.* 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-48.

Weng, Q. 2002. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management* 64:273-284.

White, R. y G. Engelen. 1997. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling. *Environment and Planning* A 24(2):235-246.

Wu, F. y D. Martin. 2002. Urban expansion simulation of Southeast England using population surface modelling and cellular automata. *Environment and Planning* A34:1855-1876.

Xiao, J., Y. Shen, J. Ge, *et al.* 2006. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using gis and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75(1-2):69-80.

Expansión urbana en el suelo de conservación

Clemencia Santos Cerquera
Adrián Guillermo Aguilar Martínez

Introducción

El suelo de conservación (SC) es considerado por la Secretaría del Medio Ambiente (SMA 2012) :

> La zona que proporciona bienes y servicios ambientales que permiten la viabilidad de la ciudad, entre los que se encuentran: la captación e infiltración de agua al manto acuífero, la regulación del clima, el mejoramiento de la calidad del aire, hábitat para la biodiversidad, oportunidades para la educación, investigación y recreación, producción de alimentos y materias primas, entre otros (SMA 2012).

El SC[1] (GDF 1987) ocupa 59% de la Ciudad de México y está contenido en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco (SMA 2012); su comportamiento porcentual respecto al área total de cada delegación es el siguiente: 100% de la delegación Milpa Alta está en SC, contrastando con las delegaciones Gustavo A. Madero, que tiene 14.2%, e Iztapalapa, que cuenta con sólo 10.5% de su territorio como área protegida y que prácticamente ha desaparecido por la intensa ocupación urbana. Las delegaciones Tlalpan, Xochimilco y Cuajimalpa tienen más de 80% de su territorio en SC, mientras que la delegación Magdalena Contreras tiene 78.7%.[2] La diferencia de área que contiene cada delegación como SC, así como su topografía, determinan el tipo de manejo y la cantidad de recursos a ser asignados en la protección de su territorio de conservación. Así, por ejemplo, la delegación Milpa Alta tiene toda su extensión en SC y, a pesar esto, no es la que presenta los mayores problemas de ocupación irregular. Uno de los factores que explica este comportamiento en la delegación Milpa Alta es el hecho de estar más retirada de la zona urbana compacta, y su crecimiento más bien se debe al desdoblamiento de las familias. Las delegaciones que han sufrido mayor ocupación irregular han sido Tlalpan, Xochimilco, Tláhuac y Magdalena Contreras (Santos 2013, Aguilar y Santos 2011 *a* y *b*).

La problemática de la ocupación y crecimiento irregular, corresponde a comportamientos diferenciados en los alrededores de los poblados originarios; por ejemplo, en la zona de los Ajuscos principalmente, el problema se agrava dada la geomorfología y el fácil acceso a la zona, de tal forma que se incrementa la oferta de terreno para construir; seguida por Xochimilco, cuyo detonador es la cercanía al frente urbano continuo.

[1] La declaratoria publicada en el Diario Oficial de la Federación del 16 de julio de 1987, en la cual se determina la línea limítrofe entre el área de desarrollo urbano y la de conservación ecológica (suelo de conservación), así como su uso, es ratificada en 1997.

[2] Estos cálculos están sujetos a modificación por los cambios que se realizan en los límites delegacionales, para estos porcentajes la cartografía usada es mgm 2005 de inegi y polígono del sc de corena (2006).

Santos-Cerquera, C. y A.G. Aguilar. 2016. Expansión urbana en el suelo de conservación. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 127-138.

El SC indudablemente representa un importante reservorio de biodiversidad con más de 2 500 especies de flora y fauna que viven en él. Además es un importante sumidero de carbono, llegando a almacenar entre 1 870 201 y 2 548 835 t (SMA 2007), y es la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de México (UNESCO e IMTA 2012). Las regulaciones urbanas han establecido una zonificación especial, con el fin de restringir la ocupación de carácter urbano en el SC, considerándolo como un ámbito no urbano, con la idea de preservar sus características ecológicas (GDF 2000).

Desafortunadamente existen diversos factores que han facilitado de una u otra forma, la multiplicación de usos de suelo de naturaleza urbana en el SC; entre éstos se pueden mencionar los siguientes:

1. En primer lugar, dentro de los límites del SC han existido durante todo el siglo pasado una serie de poblados rurales, en los cuales la población originalmente se dedicaba a actividades agropecuarias, pero a medida que la ciudad se ha expandido, estos poblados se han constituido en núcleos de ocupación del suelo, que a la vez se van densificando, generando impulsos de ocupación urbana hacia las orillas de estos mismos poblados, buscando aprovechar los servicios públicos existentes en ellos.
2. En segundo término, el SC ha sido una zona muy atractiva para la ocupación habitacional por la presencia de zonas verdes y de bosque, así como por la vista escénica que se puede apreciar de la ciudad, estas ventajas son muy importantes para tomar en cuenta en la búsqueda de vivienda, sobre todo para un estrato social de clase media-alta, y generan una fuerte presión para la ocupación periurbana en esta zona.
3. En tercer término, podemos señalar que los propios comuneros y ejidatarios han facilitado en muchos casos la subdivisión de las propiedades para la llegada de nuevos pobladores, con lo cual han contribuido a la expansión urbana.
4. En cuarto lugar, se han elaborado regulaciones y normas para detener el proceso de expansión urbana y tener zonificaciones apropiadas para su conservación, pero el proceso de planeación urbana y ambiental a través de esos mecanismos de control no ha sido eficaz para detener de manera efectiva dicha ocupación urbana. Por el contario, las autoridades locales y federales han sido bastante tolerantes en permitir tales ocupaciones; a este respecto ha existido una sobrerregulación en el SC a través de normatividades en diferentes niveles de gobierno, que se han neutralizado a sí mismas y han sido deficientes en alcanzar el objetivo original de preservar esta zona (Aguilar 2009, Aguilar y Santos 2011 *a* y *b*).

El SC, al ser la única área de la entidad con grandes extensiones de tierra sin ocupar, ha sido considerado como una reserva territorial[3] sin realmente serlo y un botín político de oferta para regularizar la vivienda ya construida, lo cual ha contribuido al abandono gradual por parte de los ejidatarios, comuneros y sus herederos, de las actividades agropecuarias en beneficio de actividades productivas urbanas. Así terminan por buscar mediante apoyo económico (programas de proyectos productivos) la conservación sin mayor esfuerzo u optan por la venta para construcción de vivienda y ocupación urbana por ser inicialmente más rentable.

Un claro ejemplo de expansión urbana en el SC son los asentamientos humanos irregulares (AHI). Se entiende como AHI "las áreas de vivienda ubicada en suelo de conservación donde está prohibida la urbanización y la construcción; estos asentamientos se ubican en terrenos de propiedad ejidal, comunal,

[3] La reserva territorial es el área que tienen los municipios para crecer y la determinan los ayuntamientos en reunión solemne de cabildo de acuerdo con su plan de crecimiento urbano, mientras que la categoría de reserva ecológica la establece la semarnat a efecto de dar protección a bosques y a la fauna y flora que en ella existan. http://www.mexicolegal.com.mx. Consultado el 13 febrero 2012.

pública federal, estatal o municipal y particular" (GDF 1997), es decir, la ocupación ilegal del suelo de conservación, sea éste de propiedad privada o pública.

Estos asentamientos han surgido como ocupaciones ilegales del suelo y se caracterizan por las condiciones precarias de la vivienda, la falta de servicios públicos y, en muchos casos, por un emplazamiento en zonas vulnerables a los deslizamientos de tierra y a las inundaciones. Los resultados obtenidos para esta contribución muestran que este tipo de asentamientos han surgido en casi todas las delegaciones del SC en el sur de la ciudad, aunque algunas delegaciones como Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta se destacan como aquellos espacios con el mayor número de polígonos, así como de extensión ocupada por AHI.

En estas ocupaciones no sólo son evidentes las condiciones de pobreza, sino también el deterioro de las condiciones originales del medio biofísico. De acuerdo con su localización, los AHI se pueden caracterizar en dos tipos: primero los que se ubican dentro del perímetro de los poblados rurales, por lo tanto muy cercanos a ellos y con un patrón más concentrado, y segundo, aquellos fuera de dichos perímetros, que presentan un patrón de ocupación más disperso y se localizan abiertamente en el SC; estos últimos crecen a un ritmo más acelerado que los primeros (Aguilar 2009).

El suelo de conservación y su ocupación

La expansión rápida pero de manera irregular en todas direcciones y poco ordenada en el sentido de los programas de desarrollo define diferentes tipos de urbanización y, por ende, diferentes tipos de zonas de transición. Por un lado, se encuentran urbanizaciones compactas y uniformes al norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y unidades habitacionales mezcladas, o en su mayoría pequeños manchones urbanos con espacios entre ellos al sur de la misma, donde se localiza precisamente el SC; es en él donde la franja de lo urbano y lo rural presenta límites cada vez más difusos, y por ello se debe considerar que el SC es un continuo de la ciudad que interactúa con ella, no es independiente: sus políticas y programas le afectan directamente (Santos *et al.* 2009).

Como resultado de los recorridos de campo y la bibliografía analizada, se puede afirmar que la transformación del suelo de conservación implica entonces la interacción de aspectos políticos, económicos, sociales, culturales, ambientales y éticos. Se reconocen los cambios de uso de suelo y entre ellos la tendencia al uso urbano como el más dinámico, identificando como formas de expansión en el SC las siguientes: *a*) la del crecimiento natural de los poblados tradicionales (algunos de la época colonial); *b*) la urbanización difusa de clase media, y *c*) la urbanización para la población de bajos recursos.

Dentro de la última forma de expansión mencionada en el párrafo anterior, es el AHI el rasgo característico, siendo además la expansión que mayor contraste socioeconómico y ambiental presenta primero, porque hay mayor limitación en la adquisición del territorio que tiene el SC para el uso urbano, en particular para personas de bajos ingresos, ya que al no poder comprar grandes extensiones no se puede pensar en un manejo ambiental del mismo; segundo, porque es ahí donde se establecen las personas de otros estados de la república que buscan mejorar sus condiciones de vida y traen con ellos sus usos y costumbres. Esto no siempre implica una mejor calidad de vida, pero sí en una alteración y a veces rechazo por no asimilar las costumbres que dictan los pobladores originarios, lo que genera núcleos bien definidos por migrantes de cada estado. Finalmente, en ambos casos, cuando llega el momento de heredar, el lote que era ya pequeño se divide aún más, sin conservar prácticamente áreas verdes que permitan la infiltración.

Dichas formas de expansión presentan diversos contrastes de ocupación urbana en SC,

y se representan en la colección de fotografías de la figura 1, las cuales son producto de los recorridos de trabajo de campo en la zona. En la mayoría de los casos las condiciones de la vivienda son precarias; sin embargo, algunas viviendas están construidas de mejores materiales, aunque sus servicios básicos sean igual de deficientes. Éstas a su vez contrastan en todos los sentidos (materiales, diseños y servicios básicos) con los asentamientos de clase media y media-alta, que también están en SC. En dichas fotografías también se puede apreciar el riesgo en la localización de algunas viviendas —sobre todo las de bajos recursos—, la afectación ambiental que con los AHI se da, así como la contaminación de cauces.

Un estudio realizado a finales del 2005 permitió establecer una primera cuantificación y espacialización de los AHI en el SC a través de imágenes digitales, definiéndose así una metodología de validación y sugerencias de corrección y refinamiento de los límites de los AHI que por primera vez acordaban las dependencias oficiales como la Comisión de Recursos Naturales (CORENA), la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) y los gobiernos de las delegaciones. Es a partir de dicho estudio que se logró, en primera instancia, reconocer cartográficamente y dar seguimiento a esta problemática.

Posteriormente, el proyecto continúa en 2008 con la Dirección Ejecutiva de Vigilancia de la Secretaría de Medio Ambiente , la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), SEDUVI y los gobiernos de las delegaciones, las cuales, a partir de imágenes digitales más detalladas, logran definir nuevos límites de AHI que actualmente están en estudio y seguimiento por las delegaciones, siendo la delegación Tlalpan la más avanzada en el proceso, seguida por la delegación Magdalena Contreras.

Con el paso de los años, los AHI adquieren servicios básicos y se consolidan hasta regularizarse, proceso que en las nueve delegaciones con SC se ha practicado. En la actualidad, sobre todo en la delegación Tlalpan (con 80% de SC), se está tratando de evitar este ciclo de ocupación-consolidación-regularización; sin embargo, ésta una es de las cuatro delegaciones con mayor tasa de crecimiento poblacional, seguido por Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, tal como se observa en la figura 2. Asimismo, Tlalpan es junto con Xochimilco la zona de mayor crecimiento urbano, como se observa en el cuadro 1.

Cuantificación del crecimiento urbano en regiones de biodiversidad del SC

Para el proceso de cuantificación de la expansión urbana se realiza la interpretación de imágenes digitales, continuando con la metodología aplicada por Santos y Guarneros (2006), actualizando los polígonos e interpretando las nuevas construcciones dentro del suelo de conservación. Se presenta un resumen que permite identificar por delegación el porcentaje que representa la ocupación urbana del total para cada año de las delegaciones con SC en la entidad y a cuantas hectáreas se está haciendo referencia (véase el cuadro 1) destacando las delegaciones de Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta como las de mayor afectación por construcciones de expansión urbana.

La delegación Tlalpan presenta grandes atributos que a su vez se convierten en desventajas para la protección de su SC: *a*) es una de las más grandes (33 061 ha); *b*) tiene condiciones geográficas favorables para la expansión, ya sea por su topografía, o por contar con mayor accesibilidad hacia la zona urbana consolidada; *c*) cuenta con localidades y poblados tradicionales de una belleza histórica y ecológica, que están conectadas a grandes vialidades como Periférico, Insurgentes, la autopista y la carretera libre a Cuernavaca, que permite estar en un lugar paisajístico del SC, pero con las ventajas de la *gran ciudad*. Por todo lo anterior el SC termina por atraer la ocupación urbana y se refleja en el hecho de tener el mayor incremento

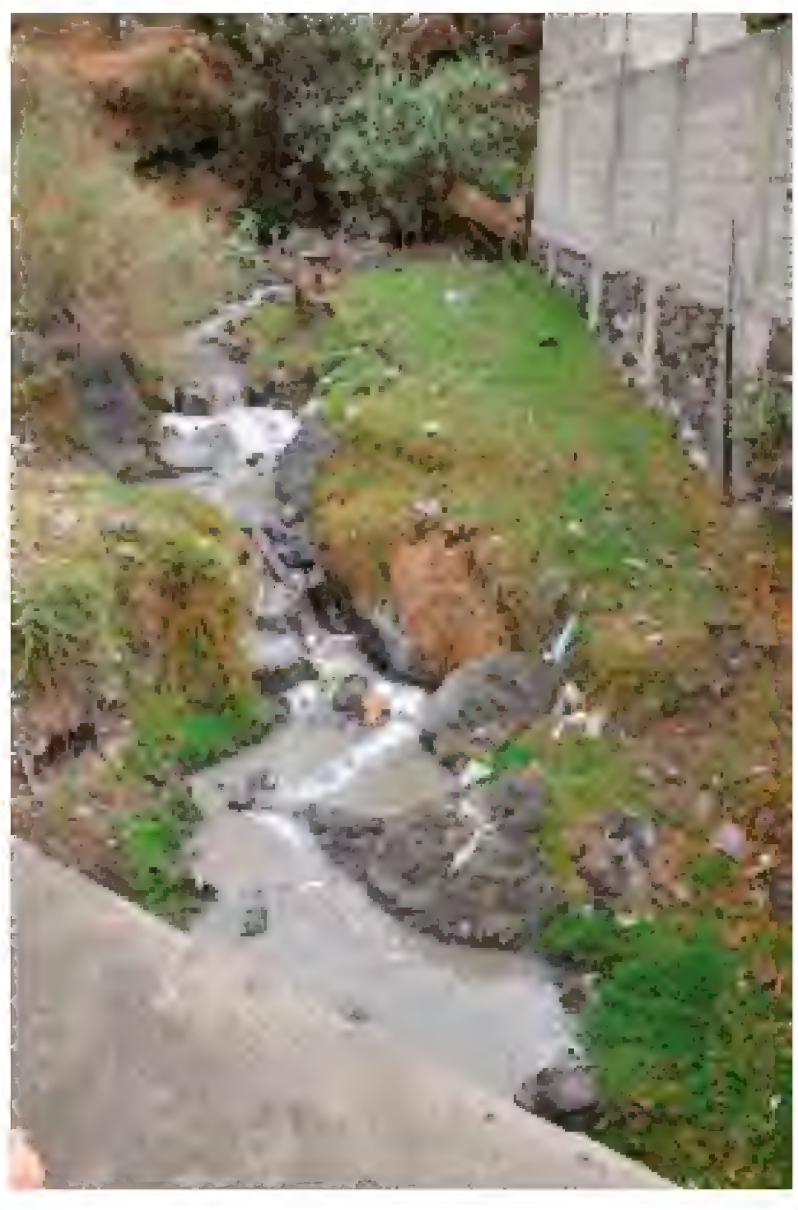


Figura 1. Diversidad y contrastes de ocupación urbana en asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación. Fotos: Omar Ortiz Meráz.

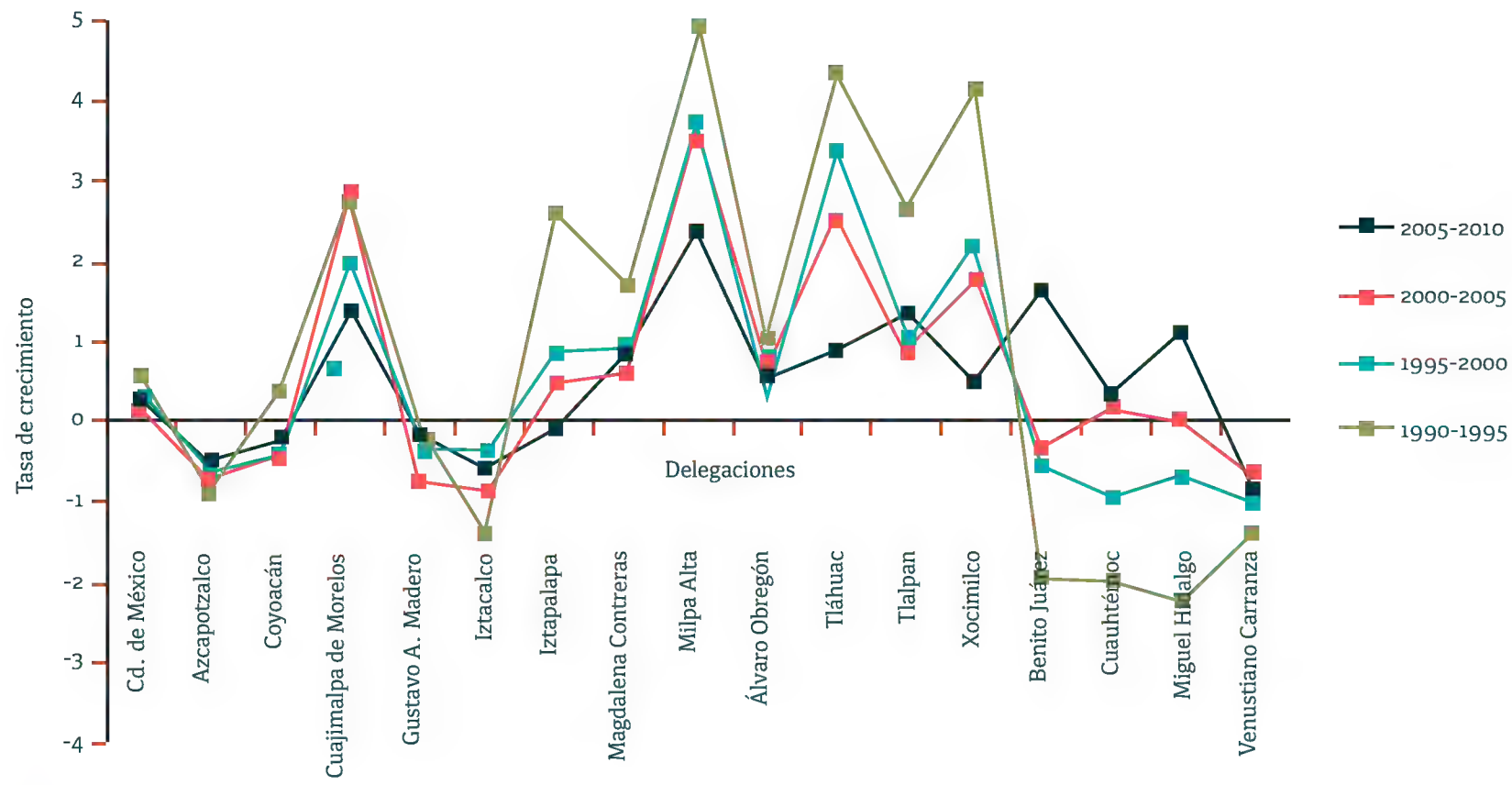


Figura 2. Crecimiento demográfico 1990-2010 en la Ciudad de México. Fuente: elaboración propia con datos de los censos y conteos de INEGI 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010.

porcentual de ocupación (4.22%) entre 2000 y 2008, es por esta razón que se ha dado la mayor pérdida en área total del SC.

Desde una perspectiva ambiental, se realiza el análisis tomando en cuenta la división del SC en regiones de biodiversidad definidas por Reygadas en esta obra, dando al SC cuatro categorías: Bosques y Cañadas, Humedales de Xochimilco y Tláhuac, Serranía de Xochimilco y Milpa Alta, Sierra de Guadalupe y Sierra de Santa Catarina.

En las figuras 3 y 4 se representa el crecimiento de la expansión urbana para 2007 y 2008, el cual ha tenido una dinámica acelerada, ya que en tan sólo un año están en proceso de pérdida 1 807 ha del SC. La única forma de impedirlo es logrando una política de recuperación y reubicación de los AHI, acompañada de una solución viable a la necesidad de vivienda que tienen los habitantes de la ZMCM.

Dentro de la serranía de Xochimilco y Tláhuac se identifican 362 localidades reportadas por INEGI en 2010 (figura 4), de las cuales seis tienen más de 15 000 habitantes, cuatro entre 10 000 y 14 999, cinco en el rango de 2 500 a 9 999 y el resto (347) tiene menos de 2 500 habitantes. Es la región que presenta una mayor distribución de localidades aunque de menor tamaño. La cercanía al continuo urbano y las vialidades permiten la conexión perfecta entre ellas, definiendo así este patrón disperso de asentamientos pequeños.

En la región Bosques y Cañadas, que es una de las de mayor tamaño, se tienen 136 localidades en el 2010, de las cuales dentro del área hay una con 23 032 habitantes, una con 2 589 habitantes, mientras que el resto está por debajo de los 2 500 habitantes, lo que indica la gran dispersión y sobre todo la fragmentación que se presenta en la ocupación de las dos grandes regiones de biodiversidad dentro del SC.

Lo contrario ocurre en la región Humedales de Xochimilco y Tláhuac, donde las 22 localidades con menos de 2 500 habitantes son un continuo de la mancha urbana que rodea y divide a tan importante reserva ecológica y patrimonio cultural de la humanidad.

Para los cálculos de la expansión urbana sobre las zonas de biodiversidad de la Ciudad de México se incluyen dentro de la categoría de *ocupación urbana* las construcciones,

Cuadro 1. Transformación y pérdida del suelo de conservación 2000-2008.

Delegación	Transformación a urbano dentro del SC (%)				Pérdida de SC (ha)		
	Año 2000	Año 2003	Año 2007	Año 2008	2000 - 2003	2003 - 2007	2007 - 2008*
Cuajimalpa de Morelos	7.59	7.56	7.76	8.10	86.34	70.32	186.36
Gustavo A. Madero	0.80	0.73	0.85	0.75	0.66	19.13	2.10
Iztapalapa	4.99	4.49	4.44	3.86	3.66	22.43	1.44
La Magdalena Contreras		2.84	3.12	2.89	109.41	50.43	24.75
Milpa Alta	12.43	13.29	13.37	13.86	239.52	93.41	308.77
Álvaro Obregón	4.81	4.56	4.32	3.94	29.02	0.52	26.73
Tláhuac	10.14	10.42	10.08	9.98	149.68	25.77	169.72
Tlalpan	16.30	18.49	18.77	20.52	433.27	148.95	576.09
Xochimilco	40.87	37.61	37.30	36.10	117.90	202.29	511.42
Total Urbano en SC de la ciudad (ha)	9876.55	11046.00	11679.25	13486.64	1169.45	633.26	1807.38

* Para el 2008 se incluye las zonas ocupados por construcciones que están dispersas en los otros años y para 2008.
Fuente: elaboración propia con base en Santos 2012.

cementerios y áreas urbanas, y se determina dentro de la categoría de *área impactada* además de la ocupación urbana el área que cubre los polígonos grandes sin construir, como la Sierra de Santa Catarina, Cuemanco, etc., pero que están rodeadas ya por construcciones.

En el cuadro 2, se determinan los porcentajes de impacto y ocupación urbana (entiéndase pérdida) de cada una de las zonas de biodiversidad entre los años 2003 y 2008, con el objetivo de comparar un periodo de por lo menos cinco años. Los Humedales de Xochimilco y Tláhuac y la Serranía de Xochimilco y Milpa Alta resultaron los más afectados por ocupación urbana. Esta última presentó a lo largo del periodo la mayor variación porcentual que corresponde a 8.61 puntos porcentuales en ocupación urbana, sin embargo representa para el 2008 casi 30% de ocupación total. En los Humedales de Xochimilco y Tláhuac la ocupación urbana es de 55.68%, pero su variación en puntos porcentuales es de 0.16 con respecto al 2003. Si se compara la variación en hectáreas entre el área impactada y la de ocupación urbana, puede llegar a ser grande en la medida que para el 2008 se incluyen nuevas áreas verdes que han quedado rodeadas por construcciones urbanas. Éstas poco a poco se van estrechando hasta ser ocupadas por viviendas casi en su totalidad. Esta situación se presenta, por ejemplo, en el cerro de la Estrella, en las chinampas de Xochimilco o en la construcción de muros para evitar más ocupación urbana, como es el caso de la sierra de Guadalupe, al norte de la ZMCM, o el cerro del Judío; sin embargo dichas acciones no serían necesarias si realmente se hiciera cumplir la sobrerregulación vigente en el SC y se manejara un plan de educación, conservación y, sobre todo, de acceso a la vivienda con una estrategia de urbanización adecuada para la ciudad.

Conclusión

Es clara la presión que la población ejerce sobre el territorio urbano en la busqueda por cubrir las necesidades de vivienda y servicios básicos. Estas acciones determinan el cambio de uso del suelo y generan una serie de tensiones e impactos desde el punto de vista ambiental, transformando el SC en una ocupación urbana.

La transformación que sufre el SC se incrementa debido a la rápida expansión de los AHI, y a su vez se reconoce que los efectos negativos de estos asentamientos se ven amplificados,

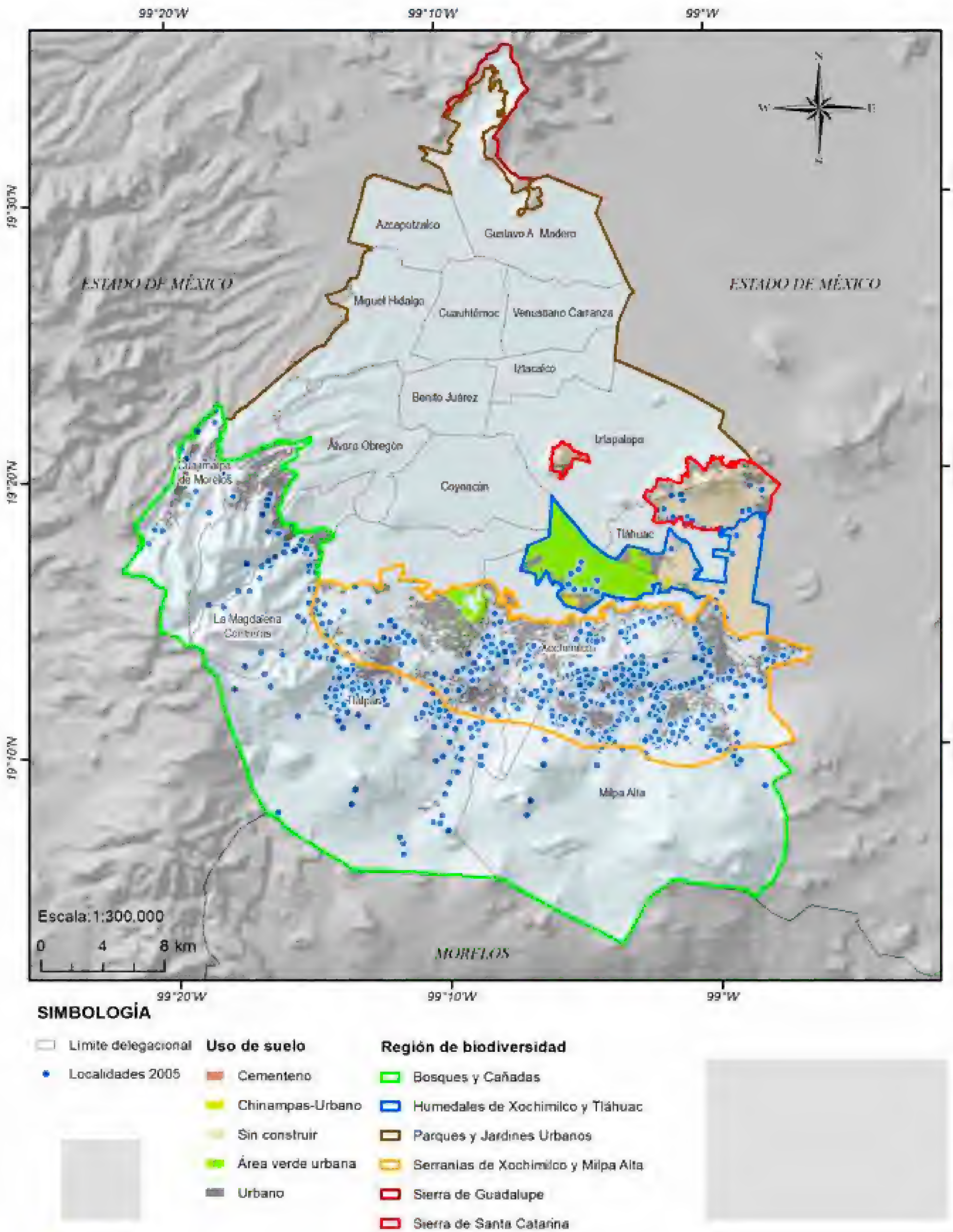


Figura 3. Suelo de conservación. Expansión urbana (2007) y localidades (2005), por zonas de biodiversidad. Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de satélite y datos del INEGI 2005.

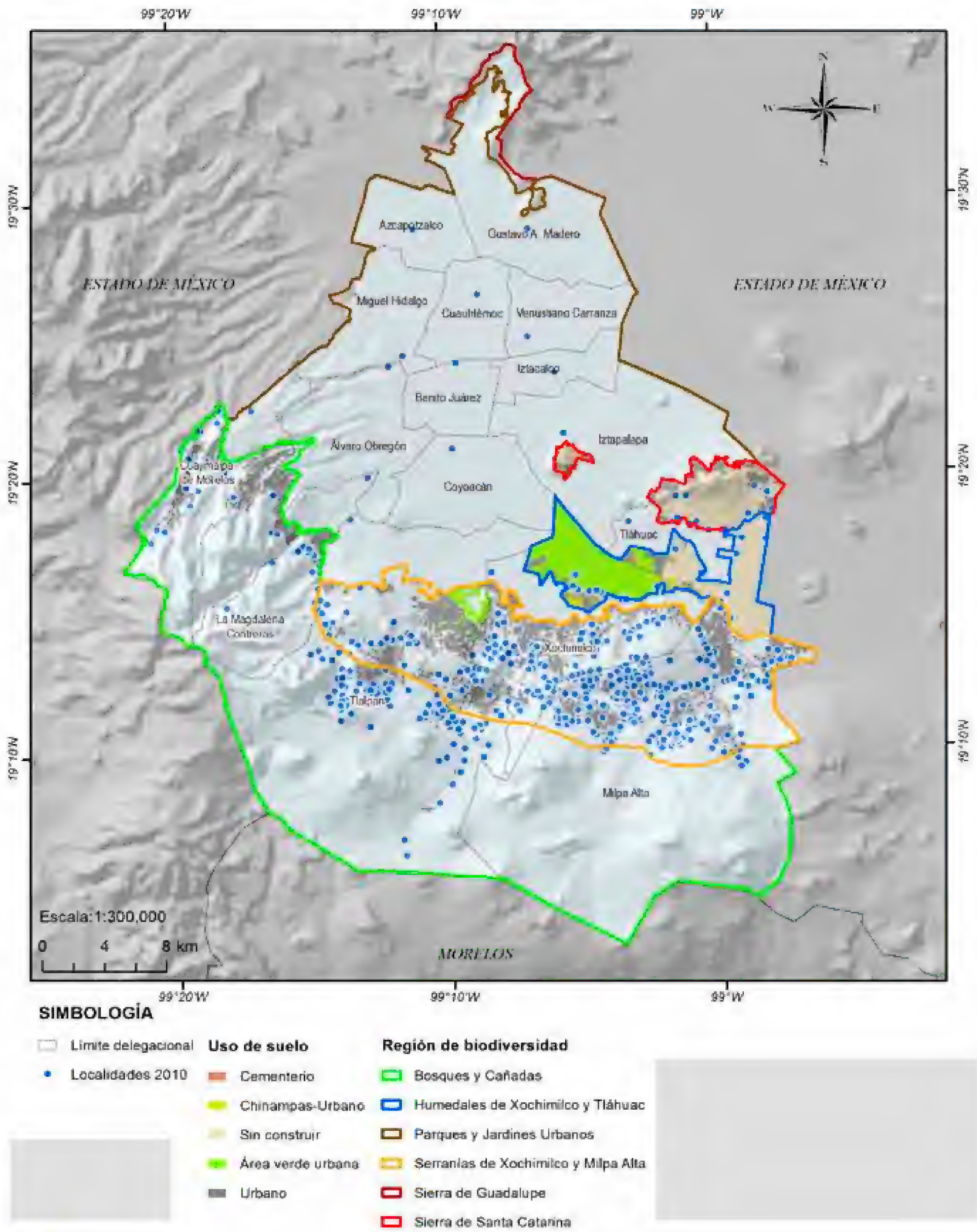


Figura 4. Suelo de conservación. Expansión urbana (2008) y localidades AHI (2010), por zonas de biodiversidad. Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de satélite y datos del INEGI 2005.

Cuadro 2. Expansión urbana sobre regiones de biodiversidad.

	Áreas (ha)			Porcentajes			
	Zonas**	Impactada al 2003*	Impactada al 2008*	Impacto 2003	Impacto 2008	de ocupación urbana*** 2003	de ocupación urbana*** 2008
Bosques y cañadas	53 243.41	2 142.67	2 982.05	4.02	5.60	3.44	4.47
Humedales de Xochimilco y Tlahuac	6 035.90	4 018.18	5 921.62	66.57	98.11	55.52	55.68
Serranias de Xochimilco y Milpa Alta	23746.50	4 855.56	7 806.44	20.45	32.87	20.21	28.82
Sierra de Guadalupe	1 290.27	1 224.23	483.15	94.88	37.45	6.68	7.72
Sierra de Santa Catarina	3 138.53	859.64	17193.26	27.39	99.69	22.28	23.95

* Se considera las construcciones urbanas, cementerios, áreas verdes y área sin construir que estén rodeadas de construcciones .
** Área calculada por el sistema para las zonas de biodiversidad y así ser comparables con los polígonos de expansión.
***Las áreas libres que no esten rodeadas por construcciones, no son consideradas.
Fuente: elaboración propia.

por lo que se entra en un círculo vicioso al crear medios insalubres que a su vez generan un riesgo ambiental para la población, aumentando la tensión y como consecuencia el impacto en esta relación población-ambiente.

El proceso de expansión urbana muestra marcadas diferencias entre delegaciones, las cuales se pueden agrupar de la siguiente forma: en primer lugar Tlalpan y Xochimilco, con una pérdida arriba de 500 ha en el último año de análisis (2008); seguidas por Milpa Alta con más de 300 ha; en tercer y cuarto lugar, respectivamente, Cuajimalpa y Tláhuac, entre 120 y 200 ha, y en quinto lugar, por debajo de 100 ha, se encuentran las otras delegaciones con SC.

Esta diferencia entre delegaciones también se aprecia en los recorridos de trabajo de campo que se realizaron durante el proceso de validación de la información obtenida por la interpretación de imágenes digitales, donde las delegaciones con zonas de barrancas (Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa) presentan en sus construcciones y ocupantes una mayor precariedad, mientras que en la zona correspondiente a las delegaciones Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta es menor.

La presente investigación permite afirmar que la expansión urbana ha mostrado un proceso continuo de avance con proliferación de los ahi, en un patrón de dispersión-redensificación, consolidación-expansión, para finalmente lograr la regularización. Todo este proceso se realiza aproximadamente en un periodo de 15 a 20 años.

Se reconoce el esfuerzo que algunas áreas del gobierno, sobre todo dentro de la delegación Tlalpan, realizan para frenar el proceso de ocupación del SC; sin embargo, la falta de continuidad en las acciones con cada periodo electivo, la falta de participación dentro de las otras áreas de decisión o simplemente la demora en la toma de acciones (parte jurídica), son factores determinantes para tener los resultados de ocupación aquí calculados.

La cuantificación de pérdida y afectación nos demuestran que no es suficiente lo que se ha hecho. Hay que reconocer las fallas en la forma de organización para la apropiación del medio natural y construido, la distribución inequitativa de la tierra, la discriminación en acceso a bienes y servicios ambientales y la falta de valoración de la biodiversidad del SC.

El desconocimiento de relaciones entre la calidad del medio ambiente y calidad de vida, las formas de utilización e impacto, las regulaciones normativas e instituciones responsables de la aplicación de las normas son a su vez factores significativos en la situación actual del SC frente a la expansión urbana. Estas relaciones se ven reflejadas en diversas acciones, como son las contradicción en la legislación entre las distintas entidades del gobierno, la falta de continuidad y homogenización en programas y formatos entre de-

legaciones con SC, el seguimiento a las recuperaciones, agilidad en estudios de riesgo ambientales y sociales que ayudarán a ejercer la ley y prevenir tragedias, las formas de utilización de los recursos y, finalmente, la falta de coherencia y correspondencia entre programas y desarrollos que zonifican el SC. Las consecuencias son la expansión urbana sobre el SC con la respectiva pérdida de las áreas de captación de agua y generación de zonas de deslaves e incluso la pérdida de vidas humanas. Por este motivo no se puede seguir impactando la reserva ecológica, hay que tener conciencia del costo ambiental que tarde o temprano se tendrá que pagar si no se atienden estos factores reforzadores de los procesos de urbanización.

Referencias

Aguilar, A.G. 2009. Urbanización periférica e impacto ambiental. El suelo de conservación en la Ciudad de México. En: *Periferia urbana, deterioro ambiental y restructuración metropolitana*. Aguilar A. G. e I. Escamilla (eds.). Instituto de Geografía, IG-UNAM Miguel Ángel Porrúa Editores. México, pp. 21-52.

Aguilar, A.G. y C. Santos. 2011*a*. Informal settlements needs and environmental conservation in Mexico City: An unsolved challenge for land-use policy. *Land Use Policy* 28(4): 649-662.

——. 2011*b*. El manejo de asentamientos humanos irregulares en el suelo de conservación del Distrito Federal. Una política urbana ineficaz. En: *Periurbanización y sustentabilidad en Grandes Ciudades*.A.G. Aguilar e I. Escamilla (cords.). IG-UNAM Miguel Ángel Porrúa Editores, México, pp. 277-315.

CORENA. Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría de Medio Ambiente. 2006. Cartografía de los polígonos del Suelo de Conservación.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 1987. Programa General del Programa Director para el Desarrollo Urbano del Distrito Federal 1987. Publicado el 16 de julio de 1987 en el Diario Oficial de la Federación. En:*<http://www.congresomich.gob.mx/dof/index.php?option=com_docman&task=catview&gid=368&Itemid=1>*

——. 1997. Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Tlalpan. En: *<http://www.sideso.df.gob.mx/documentos/prog-delegacionales/tlalpan%5B1%5D.pdf>*, última consulta: noviembre de 2011.

——. 2000. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. Publicado el 8 de agosto del 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. Texto vigente.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 1990. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Resultados definitivos. inegi. México.

——. 1995. Conteo de Población y Vivienda, 1995. En: *<http://inegi.mx/prod_Serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/compendio/1995_p.pdf>*, última consulta: 6 de febrero de 2013.

——. 2000. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000 Resultados definitivos. En: *<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>*,última consulta: 12 de enero de 2012.

——. 2005. II Conteo de Población y Vivienda, 2005. En: *<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>*, última consulta: 12 de enero de 2012.

——. 2010. Censo General de Población y Vivienda 2010 Resultados definitivos. En: *<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>*, última consulta: 12 de enero de 2012.

Santos, C. 2013. Interacciones y tensiones de la expansión urbana en el SC. En: *La sustentabilidad en la Ciudad de México*. El Suelo de Conservación en el Distrito Federal. Aguilar, A.G. y Escamilla, I. (eds.) IG-UNAM, Miguel Ángel Porrúa Editor, (en proceso de edición).

Santos C. y L. Guarneros. 2004. Monitoreo por imágenes de satélite de la expansión metropolitana de la Ciudad de México. En: *Procesos metropolitanos y grandes ciudades. Dinámicas recientes en México y otros países*.Aguilar, A.G. (coord.). Cámara de Diputados/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/ig/unam, CRIM, PUEC/UNAM/Miguel Ángel Porrúa, México, pp. 365-394.

——. 2006. La expansión metropolitana en las áreas naturales protegidas y el suelo de conservación. Un análisis a partir de imágenes de satélite. En: *Las grandes aglomeraciones metropolitanas y su periferia regional. Experiencias en Latinoamérica y España*. Aguilar A.G. (ed.). Editorial Miguel Ángel Porrúa. México, pp. 181-208.

Santos, C., I. Escamilla y L. Guarneros. 2009. La expansión urbana en la zona norte de la periferia metropolitana de la Ciudad de México. En: A.G. Aguilar e I. Escamilla (eds.). *Periferia urbana, deterioro ambiental y reestructuración metropolitana*. IG-UNAM, Miguel Ángel Porrúa Editor. México, pp. 53-71.

SMA. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2012. En: *<http://www.sma.df.gob.mx/corena/>*, última consulta: febrero de 2012.

——. 2007. Agenda ambiental de la Ciudad de México, 2007-2012. En: *<www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/.../03suelo.pdf>*, última consulta: julio 2012.

Planeta Tlalpan. 2012. Jardines y parques de Tlalpan corredores de vida para las aves. En: *<http://planetatlalpan.org/home/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=17&Itemid=40->*, última consulta: agosto 2012.

UNESCO/IMTA. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization/ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. En: *<http://www.atl.org.mx/aguadf/index.php?view=article&catid=38>*, última consulta: febrero 2012.

Sistemas acuáticos superficiales

Marisa Mazari Hiriart
Luis Zambrano González

Introducción

El servicio de provisión de agua es fundamental en la cuenca de México, ya que de ello dependen 20 137 152 habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), de los cuales, la Ciudad de México alberga 8 851 080, es decir 44% (INEGI 2010). La zona más importante de aporte de agua en la ciudad es la región suroccidental, en la que la variación de la precipitación se asocia con la altitud, presentándose un gradiente con las mayores precipitaciones en la sierra de las Cruces y la sierra del Ajusco, correspondiente a las Serranías de Xochimilco y Milpa Alta (véase la figura 5 del capítulo Clima en esta obra) (Mazari-Hiriart *et al.* 2000). En esta zona, el tipo de formación geológica (del Cretácico) y el tipo de suelo (rocas sedimentarias y volcánicas) en el cual se deposita el agua de lluvia, favorece la recarga del sistema de acuíferos, así como los escurrimientos superficiales (Ramos-Leal *et al.* 2010).

Cuerpos de agua de la cuenca de México

En la actualidad, la permanencia de los cuerpos de agua superficial en la ciudad, ríos, lagos y humedales, dependen tanto del aporte por lluvia y agua tratada, como del grado de explotación o alteración que estos sistemas presentan. Desgraciadamente, la mayoría de estos cuerpos de agua se encuentran en mal estado y aquellos que no están entubados, como el río de la Piedad, están fuertemente contaminados en las zonas bajas, como es el caso del río Magdalena (Mazari-Hiriart *et al.* 2000, Ramos-Leal *et al.* 2010).

Estos cuerpos de agua permiten que el agua almacenada se infiltre y que la recarga del sistema de acuíferos se lleve a cabo, esto además evita tolvaneras producidas por los lechos secos de los lagos. Es importante resaltar que el agua que corre por las zonas en las que aún se conservan áreas verdes puede considerarse de relativa buena calidad, la cual disminuye conforme se incrementa el grado de alteración debido al crecimiento de la mancha urbana (Legorreta 2009).

Legorreta (2009) menciona la existencia de 45 ríos en la cuenca de México, de los cuales, 31 fluyen a través de la zona suroccidental y 14 de ellos se ubican en territorio de la ciudad; a éstos se pueden agregar al menos tres manantiales de dimensiones considerables, además de cientos de manantiales pequeños. Ante la cantidad de cuerpos de agua que existen en la ciudad y su estado de deterioro, se ha optado por alguna de las siguientes alternativas: la primera, que ha sido la más usada en el plan de urbanización, es la de ocultarlos; así, estos ríos, lagos y manantiales se drenan y entuban buscando evitar enfermedades o inundaciones. Sin embargo, estas acciones no evitan las inundaciones ya que simplemente las transportan a otros sitios. Al transportar el agua entubada, se evita o disminuye la infiltración, lo que impide la recarga del sistema de acuíferos y, a su vez, propicia el hundimiento del suelo con menor contenido de agua. La segunda opción es la estrategia seguida en los últimos años en diferentes países, que implica el rescate de dichos cuerpos de agua (Legorreta 2009).

Mazari-Hirirart, M. y L. Zambrano. 2016. Sistemas acuáticos superficiales. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 139-144.

Cuando están sanos, los cuerpos de agua superficiales mejoran la calidad de vida de las personas que están alrededor y proveen servicios ecosistémicos, como regulación del clima, mejoramiento de la calidad del agua y reducción de inundaciones.

Los 45 ríos que se originan en la periferia de la ciudad se van uniendo y concentrando en menos ríos, los cuales son, en algunos casos, represados temporalmente para evitar inundaciones y, finalmente, entubados conforme van entrando al área urbana. De esta manera, el sistema hidráulico de la ciudad se transforma en un embudo con múltiples entradas de agua que se van concentrando y terminan en tres salidas creadas artificialmente para llevar el agua fuera de la cuenca, dado que la cuenca es cerrada de manera natural (endorreica). En la figura 1 se representa en la parte superior del esquema al Tajo de Nochistongo, que recibe los aportes de los ríos del norte que incluyen el río de la Colmena y el río Tepotzotlán; en la parte central, el Gran Canal de Desagüe, que recibe los de los ríos Consulado y de los Remedios; este canal más adelante drena las aguas a través de dos túneles, el de Tequixquiac y el nuevo Túnel de Tequixquiac (Santoyo *et al.*, 2005), y, en la parte inferior del esquema se muestran los aportes que llegan al lago de Texcoco a través del canal Nacional y río Churubusco (González *et al.* 2010).

En la sección de servicios ecosistémicos incluida en el presente estudio, el río Magdalena se describe como estudio de caso; este río aporta un caudal promedio de 1 $m^{3/}s$, aunque en la actualidad son utilizados sólo 200 L/s para abastecimiento de agua en la zona sur de la ciudad (Orta *et al.* 2008, Jujnovsky *et al.* 2010, Mazari-Hiriart *et al.* 2014). Considerando que en la ZMVM se utilizan actualmente 78 m3/s, de los cuales 24.5 m^3/s (31%) corresponden a la ciudad, el río Magdalena representa el proveedor de agua superficial más importante, cuyo cauce, aunado a manantiales se estima en al menos 2% del aporte total de agua (CCA inédito, Sheinbaum 2008).

Antecedentes históricos

Desde una perspectiva histórica, se puede señalar que el sistema lacustre de la cuenca de México, que alguna vez sostuvo el desarrollo de la cultura mexica, ha sufrido un deterioro irreversible. Antes de la colonia, el sistema formaba un solo cuerpo de agua durante la época de lluvias y abarcaba un área de 2 000 km^2. Bribiesca-Castrejón (1960) describe que a principios del siglo XVI este gran sistema lacustre incluía al lago de Chalco en la zona suroriental, el lago de Xochimilco en la zona sur, el lago de México en la centro-occidental, y los lagos de Xaltocan y Zumpango al norte, así como el lago de Texcoco en la zona centro-oriental, con una mayor concentración de sales.

Estos cuerpos de agua permitían la recolección de flora, fauna y minerales, que abundaban en el sistema lacustre y sus alrededores, mismos que representaban además un importante hábitat para charales (*Menidia jordani*, antes *Chirostoma jordani*), gallineta (*Fulica americana*), axolotes (*Ambystoma mexicanum*), rana leopardo de Moctezuma (*Lithobates montezumae*), acociles (*Cambarellus montezumae*) y otros macroinvertebrados, como la chinche de agua (*Belosta flumineum*), así como venados cola blanca (*Odocoileus virginianus mexicanus*), teporingo o zacatuche (*Romerolagus diazi*) y ahuehuetes (*Taxodium mucronatum*), (Rojas-Rabiela 2004).

Para el año 1889 se presentaba ya una fragmentación del sistema de lagos, quedando en la actualidad reminiscencias de los de Chalco y Xochimilco, ubicados en una misma zona geohidrológica; al este, un área muy somera del lago de Texcoco y lo que actualmente es un lago artificial, el lago Nabor Carrillo; así como la actual presa de Zumpango. En los años 1960 y 1970, en las áreas con lagos desecados y no urbanizadas, se presentaban tolvaneras en temporadas de estiaje, lo que generaba grandes cantidades de polvo que tuvieron repercusiones en la salud de los pobladores de las zonas aledañas (Cruickshank 1998).

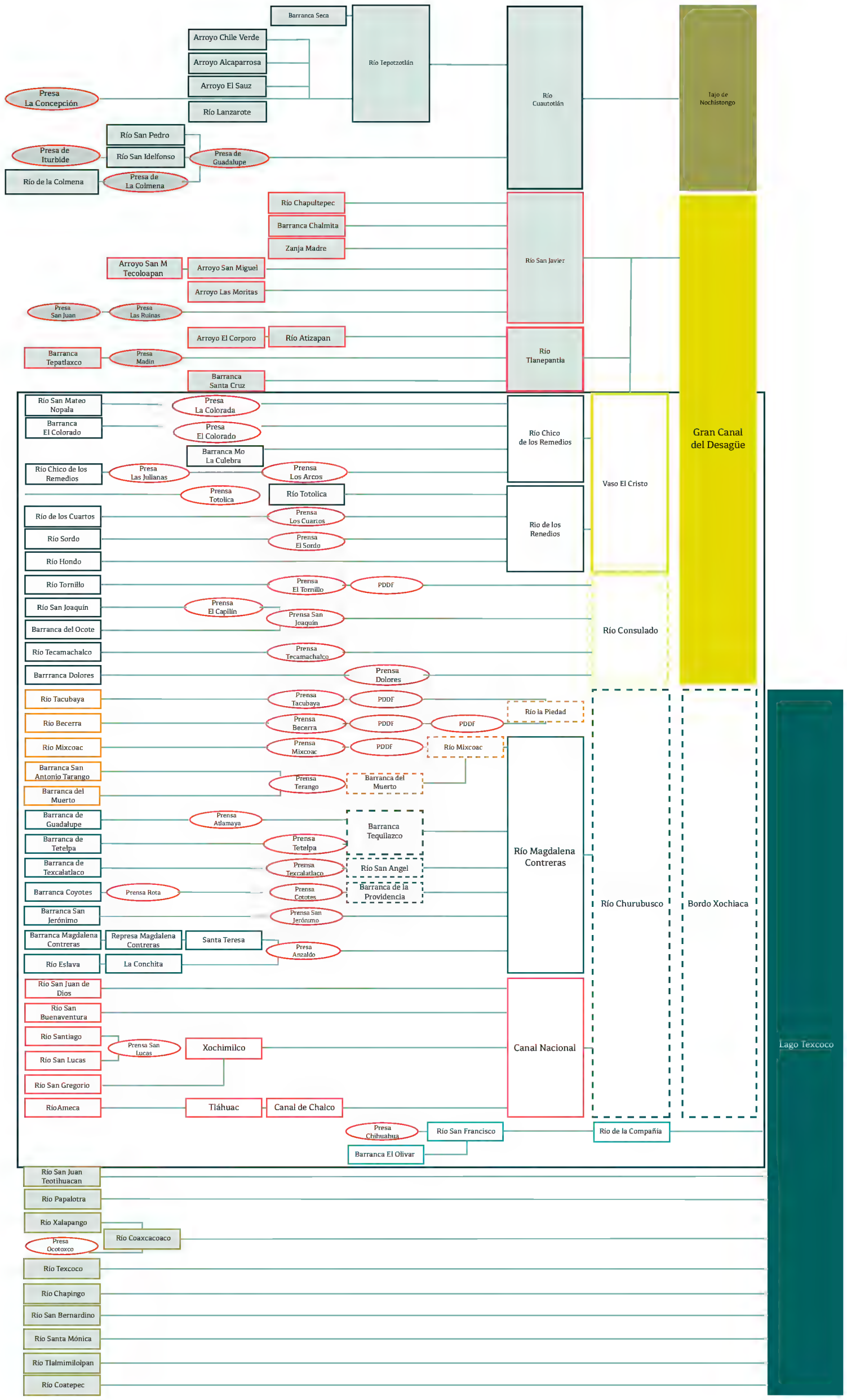


Figura 1. Representación esquemática del sistema hidráulico de la ciudad. Fuente: elaboración propia con información de CONAGUA 1960 y Legorreta 2009. Los colores representan las diferentes subcuencas en las cuales nacen los ríos. El recuadro negro marca los cuerpos de agua dentro de la ciudad. Los rectángulos representan cuerpos de agua lóticos (ríos), mientras que los óvalos representan cuerpos de agua lénticos (lagos, presas), las líneas interrumpidas son ríos modificados y entubados.

Situación actual

En la actual zona de chinampas de Xochimilco se ha detectado la presencia de biota residual como: *Hyalinobatrachium fleischmanni* (ranita de cristal de Fleischman); *Lithobates berlandieri* (rana leopardo del río Bravo); *Kynosternon hiripes* (tortuga de pantano), que era utilizada como alimento; *Thamnophis eques* (culebra de agua); *Gallinula chloropus* (gallineta frente roja); *Podilymbus podiceps* (zambullidor), y *Butorides striata* (garcita verdosa; Bojórquez y Villa 1995). Un estudio reciente indica que la mayoría de estas especies aún se encuentra presente en el sistema (López-Guijosa 2012).

Las funciones que estas especies tenían dentro del ecosistema se han ido perdiendo paulatinamente como resultado de varios factores como la alteración o desaparición de hábitats y la degradación de la calidad del agua, directamente relacionados con la urbanización y las actividades relacionadas con ésta, como la extracción de agua, la generación de residuos, la sobreutilización de fertilizantes y otros compuestos. Entre estos últimos se encuentran los denominados disruptores endócrinos, productos que contienen compuestos que afectan el sistema de glándulas de secreción interna induciendo modificaciones a los procesos fisiológicos, tanto de humanos como de organismos acuáticos; algunos de ellos son derivados de productos de limpieza, hormonas y medicamentos derivados de actividades antropogénicas (Zambrano *et al.* 2010, Díaz-Torres 2009).

En términos de servicios ecosistémicos, la productividad de zonas específicas, como el caso del humedal de Xochimilco, ha sido relativamente alta, por lo que es capaz de mantener varias poblaciones, como las de los axolotes, los charales, las ranas y las culebras. Éstos son fuente de alimento de las más de 78 especies de aves acuáticas y 115 de aves terrestres que ahí habitan. Sin embargo, los cambios hídricos del lago y la introducción de especies exóticas han alterado el flujo de energía, lo que se ha manifestado en términos de la reducción de la fauna acuática de anfibios y peces nativos. Las aves han podido sobrevivir, puesto que han encontrado otras fuentes de alimento en las especies exóticas de peces como la carpa y la tilapia, que actualmente ocupan más de 95% de la biomasa acuática (corena-unam 2012).

En la actualidad, el sistema acuático es utilizado por la escasa fauna que aún persiste; el agua se usa para riego y producción de alimentos en las zonas periurbanas. La actividad agrícola se conserva en áreas específicas de la cuenca, siendo las más conocidas las zonas chinamperas del sur de la ciudad (Losada *et al.* 2011).

Conclusión

Los ríos y lagos en la Ciudad de México presentan un alto grado de deterioro debido, en gran medida, a la urbanización de sus cabeceras, así como al descuido que los ciudadanos han tenido para con ellos. La gran mayoría de los ríos urbanos están entubados debido a decisiones gubernamentales a lo largo de décadas. Aquellos que sobreviven están ocultos tras mamparas de publicidad y llevan consigo diversos contaminantes de origen doméstico, de servicios, así como de hospitales y clínicas, porque reciben descargas ilegales de residuos sólidos (basura) y líquidos (aguas negras crudas) a lo largo de todos sus cauces.

Por su parte, los lagos son vistos como sumideros de contaminantes, con la esperanza de que el sistema se autodepure. Debido a que el aporte de contaminantes es mayor de lo que en general los cuerpos de agua pueden depurar, existe el peligro inminente de perderlos definitivamente por una mala planeación en el modelo de urbanización.

Sin embargo, existen nuevas ideas en cuanto a su manejo, así como programas de restauración de estos ecosistemas (Legorreta 2009, González *et al.* 2010). Algunos de éstos están siendo liderados por instituciones académicas, pero en muchos otros casos la sociedad civil

está tomando en sus manos la búsqueda de soluciones para la restauración de los mismos. De esta manera, se tienen dos escenarios posibles: la destrucción total de los cuerpos de agua superficiales con la consecuente pérdida de los servicios ecosistémicos involucrados o la inversión económica para su restauración, lo que significará grandes ahorros en el mediano y largo plazo, así como una mejor calidad de vida para los capitalinos.

Referencias

Bojórquez, C.L. y F. Villa. 1995. El ecosistema lacustre. Xochimilco y el deterioro de las chinampas. En: *Presente, pasado y futuro de las chinampas.* T .Rojas Rabiela (coord.). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco. México, pp. 85-137.

Bribiesca-Castrejón, J.L. 1960. Hidrología histórica del Valle de México. *Ingeniería Hidráulica en México* 14(3):43-61.

CCA. Consejo Consultivo del Agua. Inédito. El agua en la ciudad de México. México.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 1960. Boletín Hidrológico 13. Organismo de Cuenca del Valle de México. Comisión Nacional del Agua. México.

CORENA/UNAM. Comisión de Recursos Naturales/Universidad Nacional Autónoma de México. 2012. Informe técnico: Proyecto, Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote. CORENA/SMA/GDF/ Instituto de Biología (IB/UNAM). México.

Cruickshank, G.G. 1998. *Proyecto lago de texcoco. rescate hidroecológico.* Segunda Edición. Sistemas Gráficos. México.

Díaz-Torres, E. 2009. *Determinación de disruptores endocrinos por cromatografía de gases-masas en la zona lacustre de Xochimilco,* D.F. Tesis de maestría. UNAM. México.

González, A., L. Hernández, M. Perló e I. Zamora. 2010. *Rescate de ríos urbanos. Propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos.* Coordinación de Humanidades y Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad. UNAM.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Censo General de Población y Vivienda 2010. México. En: <*http://www.censo2010.org.mx.*>, última consulta: 3 de mayo de 2012.

Jujnovsky, J., L. Almeida-Leñero, M. Bojorge-García, *et al.* 2010. Hydrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena River, Mexico City. *Hidrobiológica* 20(2): 113-126.

Legorreta, J. 2009. *Ríos, lagos y manantiales del Valle de México.* UAM/GDF/Artes Impresas Eón, México.

López-Guijosa, P.A. 2012. *Evaluación ambiental de Xochimilco con base en los criterios de la Convención Ramsar.* Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM.

Losada, H., J. Rivera, J. Cortes y J. Vieyra. 2011. Urban agriculture in the metropolitan area of Mexico city. *Field Actions Science Reports* 5: 1-11.

Mazari-Hiriart, M., L.A. Bojórquez, A. Noyola y S. Díaz. 2000. Recarga, calidad y reuso de agua en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En: *Dualidad Población-Agua. Inicio del Tercer Milenio.* M. Mazari (comp.). COLMEX. México, pp 137-165.

Mazari-Hiriart, M.G. Pérez-Ortiz, M. T. Orta-Ledesma, *et al.* 2014. Final Opportunity to Rehabilitate an Urban River as a Water Source for Mexico City. *PLoS ONE* 9(7).

Orta, M.T., I. Yáñez-Noguez, M. Mazari-Hiriart, *et al.* 2008. *Restauración de un río urbano. Aspectos ambientales e hidrológicos.* XXXI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santiago de Chile, pp. 12–15.

Ramos-Leal, J.A., C. Noyola-Medrano y F.P. Tapia-Silva. 2010. Aquifer vulnerability and groundwater quality in mega cities: case of the Mexico Basin. *Environmental Earth Sciences* 61(7):1309-1320.

Rojas-Rabiela, T. 2004. Las cuencas lacustres del Altiplano Central. *Arqueología Mexicana* 12(68): 20-27.

Santoyo, E., E. Ovando, F. Mooser y E. León. 2005. Síntesis geotécnica de la cuenca del valle de México. *tgc Geotécnias.* México.

Sheinbaum, P.C. 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México*. Limusa. México.

Zambrano, L., E. Valiente y J. Vander-Zanden. 2010. Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City. *Biological Invasions* 12(9): 3061-3069.

Importancia del agua subterránea en la conservación de los ecosistemas

Liliana Andrea Peñuela Arévalo
Gabriela García Rubio
José Joel Carrillo Rivera

Introducción

El presente trabajo hace un recuento de las condiciones hidrológicas naturales de la Ciudad de México. La presencia superficial del agua se hace más evidente hacia las zonas de Xochimilco, Chalco y sur de la ciudad; sin embargo, no ha sido reconocida su importancia y nexo con el agua subterránea, lo que ha afectado su uso sustentable y la conservación de la biodiversidad. El objetivo de esta contribución es destacar la importancia de las dinámicas del agua subterránea en determinados ecosistemas en la entidad y resaltar el papel preponderante de la descarga del agua subterránea, más que los aspectos inherentes a su recarga. Asimismo, se enlistan algunos de los impactos de la extracción intensiva y no regulada del agua subterránea, motivada por el acelerado crecimiento demográfico y sus actividades económicas.

Teoría de los sistemas gravitacionales de flujo (TSGF)

Esta teoría se considera como una herramienta de gran utilidad para tipificar los impactos ambientales ocurridos ya que permite definir la dinámica del agua subterránea al incorporar una visión sistémica del ambiente, haciendo explícita la relación entre sus diversos componentes y estableciendo así el nexo entre las características bióticas y abióticas (naturales) en superficie y subsuelo (Tóth 2000). Con esta teoría, cualquier propuesta de funcionamiento del agua subterránea es factible de ser comprobada, ya que ésta debe ser congruente con la respuesta ambiental observada en campo.

La TSGF establece que los parámetros que rigen el funcionamiento de los flujos de agua subterránea son: la topografía, el referente geológico y el clima. Estos tres elementos determinan: *a*) la cantidad de energía, (responsable del movimiento del agua), *b*) los contornos del sistema de flujo (zonas de recarga y descarga), *c*) el paso por donde circula el agua (formaciones geológicas), *d*) la calidad del agua (características físicas y químicas, como la temperatura, contenido de sales, etc.), así como su volumen y distribución espacial (Tóth 2000).

Aunque el auge en la investigación sobre agua subterránea desde la perspectiva de los sistemas de flujo es relativamente reciente, esta metodología ha sido utilizada de manera implícita desde el inicio de la década de los años sesenta (Tóth 1962). A fines de la década de los setenta se consideró, por primera vez, como referente en un libro de texto, ahora clásico sobre agua subterránea (Freeze y Cherry 1979). El avance científico y metodológico en materia de investigación interdisciplinaria sobre sistemas de flujo de agua subterránea desde una perspectiva espacio-temporal fue implementado por Tóth (1970, 1995) y Wallick y Tóth (1976), quienes integraron en forma coherente y complementaria el medio geológico (estructura, material litológico, espesor de la unidad acuífera, posición del basamento y

Peñuela-Arévalo, L.A., G. García-Rubio y J.J. Carrillo-Rivera. 2016. Importancia del agua subterránea en la conservación de los ecosistemas. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 145-164.

manifestación geomorfológica), la edafología (naturaleza química y física del suelo), la botánica (tipo de vegetación y su consumo de agua), la hidrogeoquímica (indicadores de edad del agua, tiempo de residencia, altitud de la recarga, reacciones agua-roca), la hidráulica subterránea (distribución de la carga hidráulica, volumen de agua) y la hidrología superficial (precipitación, escorrentía).

Para el caso de la Ciudad de México, estos parámetros influyen de manera decisiva para definir cada sistema de flujo identificado (Carrillo-Rivera *et al.* 2007) los cuales se discuten en este trabajo. Esta influencia se manifiesta en la continuidad hidráulica de los flujos de agua subterránea con cuencas hidrográficas vecinas, flujos que se pueden identificar por la calidad química particular causada precisamente por la extensión y profundidad de recorrido del agua en el subsuelo. Lo anterior significa que el camino transitado por el agua de lluvia al moverse en el subsuelo le atribuye propiedades fisicoquímicas específicas, de acuerdo con la distancia, profundidad (donde influye el gradiente geotérmico), tiempo de circulación y por el material geológico que encuentra a su paso.

Al determinar las propiedades que el agua adquiere desde la zona de recarga hasta la de descarga, se puede deducir si ésta proviene de uno de los tres sistemas básicos de flujo: local, intermedio o regional. En la zona de recarga del agua, los sistemas de flujo están ligados a una altitud particular, con una profundidad y distancia de recorrido en el subsuelo que son diferentes para cada sistema de flujo.

Los sistemas locales están representados en la figura 1 por los vectores de menor magnitud, los intermedios son los vectores que contienen al menos un flujo local; un flujo regional está representado por el agua que viaja desde la parte más alta hasta la más baja (Tóth 2000). Durante la trayectoria natural de cada uno de estos flujos no es común que se mezclen entre sí; no obstante, es posible que ocurra en el proceso de descarga o durante la extracción de agua mediante pozos, lo cual ocurre frecuentemente en la ciudad. La mezcla de flujos ocasiona un cambio en la calidad química del agua que se extrae (que depende de las características fisicoquímicas de cada uno de ellos), que afecta la salud humana por la presencia de elementos nocivos como arsénico, fluoruro y manganeso, entre otros. Sin embargo, existe evidencia que la mezcla controlada de flujos puede contribuir a la mejora de la calidad final del agua extraída; no obstante, se requiere de estudio y gran conocimiento del sistema (Carrillo-Rivera *et al.* 2002).

Importancia del agua subterránea

La TSGF se considera como una técnica complementaria para conocer el comportamiento del agua subterránea y, por ende, mejorar la división administrativa actual del subsuelo, en lo que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) denomina acuíferos. Los acuíferos fueron establecidos por la secretaría del ramo (Secretaría de Recursos Hidráulicos) en las décadas de los 60 y 70, y han sido ratificados por la CONAGUA, entidad que actualmente tiene registradas 653 de estas unidades administrativas en el país (SEMARNAT-CONAGUA 2011). Esta división administrativa podría ser reforzada con la TSGF, puesto que los acuíferos no corresponden con los límites físicos del movimiento del agua subterránea, como se señala en el artículo 3° de la Ley de Aguas Nacionales 1992. Dicha delimitación se realizó: "para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo".

Lo anterior tiene diversas repercusiones; por ejemplo, los casos de sobreexplotación reportados por la SEMARNAT-CONAGUA (2011), que se incrementan continuamente (de 35 en 1975 a 101 en 2012), y son una clara evidencia de la necesidad de incorporar el funcionamiento del agua subterránea en el manejo del *acuífero*, ya que la evaluación hidrológica

que se realiza no refleja necesariamente el comportamiento del agua subterránea ni del sistema hidrológico subterráneo en su totalidad. Usualmente se limita la evaluación a una porción (acuífero o cuenca superficial) de una formación o conjunto de formaciones geológicas; donde su espesor es considerado hasta la profundidad de los pozos y no con el total de la columna estratigráfica.

Es importante enfatizar que el concepto acuífero de la CONAGUA no es funcional para la evaluación del sistema hidrológico, ya que implica límites físicos claros y, por tanto, una carencia de continuidad hidráulica con el resto del subsuelo, concepto que en la práctica es contrario a las observaciones de campo.

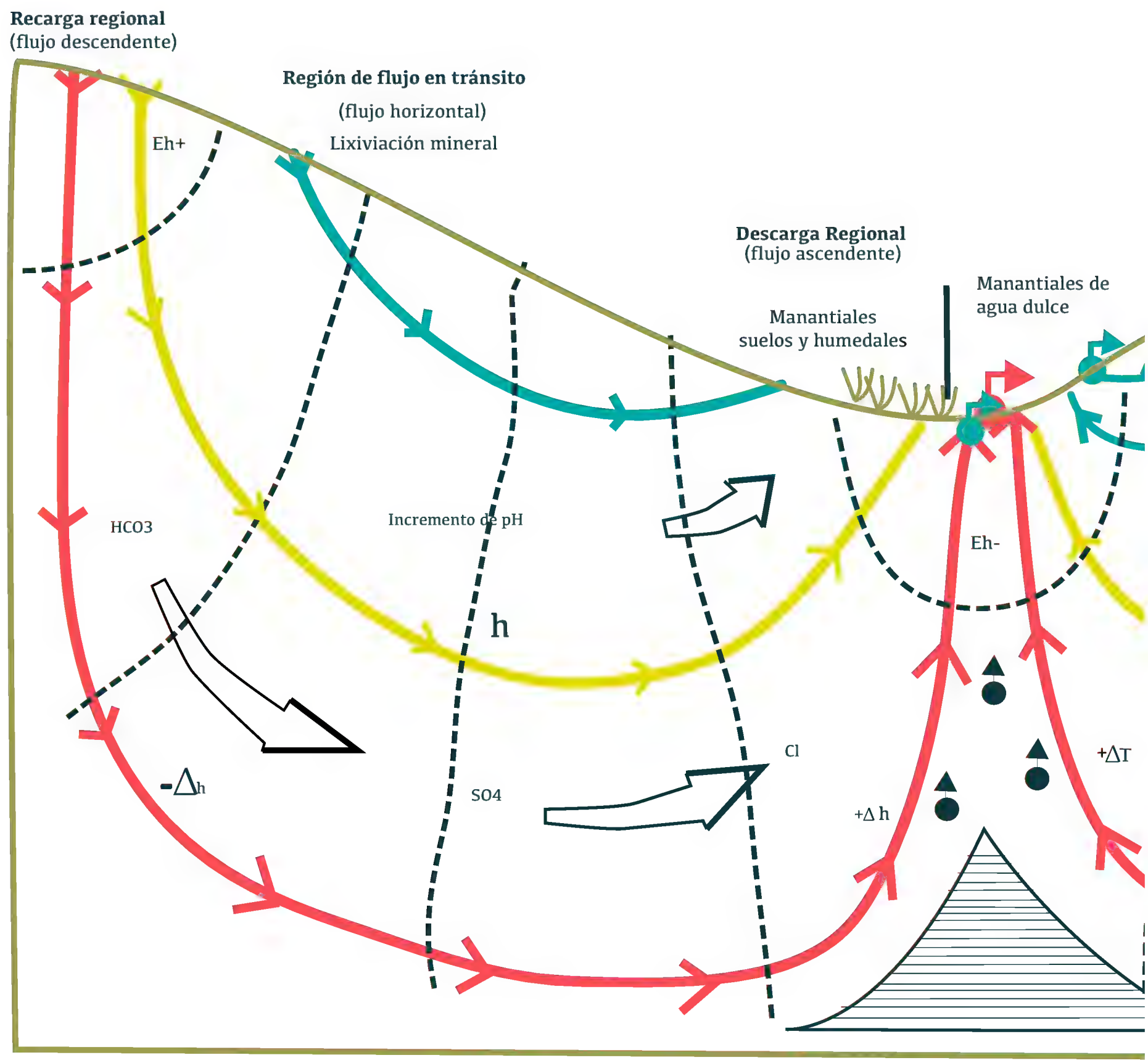
México posee formaciones geológicas o conjuntos de ellas con extensión regional (cientos de km^2) y de gran espesor (>3 km), tal es el caso la ciudad, por lo que la descripción del agua subterránea en el presente documento busca acercarse lo más posible al funcionamiento del sistema hidrológico de la ciudad bajo una perspectiva regional.

Descripción del área de estudio

La cuenca de México fue originalmente de tipo endorreico (cerrada). Dicha característica, aunada a la descarga natural de agua subterránea en forma de manantiales y aportes en lagos, permitió la existencia de un sistema lacustre compuesto por varias subcuencas con diferentes cuerpos de agua somera y con fondo relativamente plano. Los lagos que originalmente componían este sistema se nombran de norte a sur: Zumpango, Xaltocan, Texcoco, México, Xochimilco y Chalco, los cuales, bajo condiciones climáticas favorables se unían llegando a formar un sólo cuerpo de agua que cubría una superficie de ~2 000 km^2. Los tres primeros presentaban calidad del agua de salobre a salada; sin embargo, el lago de Texcoco presentaba una descarga de agua subterránea con mucho mayor salinidad procedente de sistemas de flujo regional (Edmunds *et al.* 2002). Por su parte, el agua del lago de México presentaba menor salinidad debido a que era alimentado por manantiales de agua dulce, procedentes de la vertiente norte de la sierra de Chichinautzin, así como de ríos y manantiales de la sierra de Las Cruces. Los lagos de Xochimilco y Chalco se caracterizaban por su agua dulce que les proporcionaba una riqueza en biodiversidad; parte de esta agua provenía de las montañas y volcanes vecinos, así como de diversos manantiales que descargaban en su interior y márgenes. Por ello, la relevancia de mantener estas descargas de agua dulce, tanto en volumen como calidad del agua, para conservar los ecosistemas y el uso sostenido de la biodiversidad.

La recarga de agua subterránea, el clima y su relación con el establecimiento de especies indicadoras

Es evidente que las condiciones de lluvia producen descargas de agua dulce a través de manantiales cuya descarga depende del aporte de la lluvia y del tiempo, desde la recarga hasta la descarga. Así, esta descarga ha variado en el tiempo como consecuencia de las situaciones climáticas que experimenta la cuenca de México, las cuales han cambiado desde la época precolonial. Florescano *et al.* (1980) y Florescano y Swan (1995) reportan sequías para la cuenca durante los años 1004, 1052, 1287, 1448 y 1514; también hay registros de lapsos largos de sequía durante los años de 1520 a 1529 y de 1560 a 1569. Los mismos autores señalan que las sequías fueron comunes con más de 50 casos documentados entre 1521 y 1821. Asimismo, afirman que hubo sequía durante tres años continuos durante 1616-1618 y 1778-1780. La sequía que sobresale por su duración (26 años) fue la que dio inicio en 1052. Durante tales periodos de sequía, no se realizó el proceso de recarga al sistema de aguas subterráneas. Un manantial sujeto a condiciones de sequía sufre una interrupción en la descarga de agua subterránea, ya que la abundancia de ésta se encuentra directamente relacionada con las



Línea

Flujos de agua subterránea

Regiones

Intermedios

Locales

Manifestaciones ambientales relacioadas con la descarga de agua subterrànea

Manatiales: frío, caliente

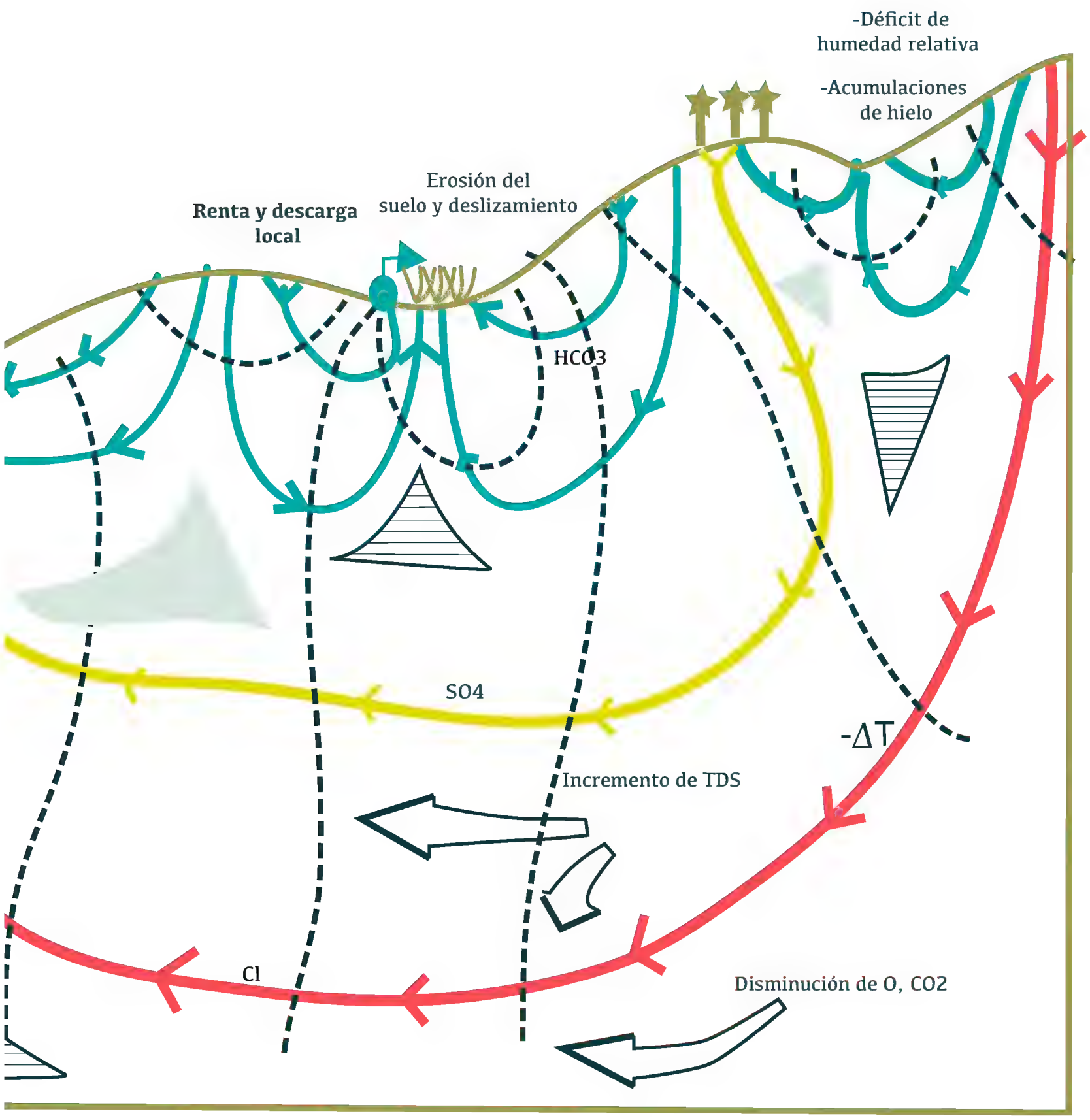
Plantas freatopitas

Plantas xerófitas

Temperatura geotermal y anomalías en los gradientes:

+Δ T-,ΔT positiva, negativa

Figura 1. Diagrama representativo de los sistemas de flujo de agua subterránea y los elementos de control relativos a sus zonas de recarga y descarga (i.e. composición química, temperatura del agua, tipo de suelo y vegetación, procesos de erosión y depósito). Fuente: modificado de Tóth 2000.



Condiciones Redox

Eh+ Oxidentes

Eh- Reductoras

Trazas minerales (metálicos, evaporitas. hidrocarburos) por encima de los valores de acululación

Niveles piezométricos

-Δh subhidrostáticos

h Hidrostáticos

+Δh Superhidrostáticos

Trampa hidráulica: convergencia y aculuación de matería transportada y calor

Zona estagnante: Incremento de TSD

condiciones inmediatas de respuesta lluvia-escorrentía, lo que provoca en ocasiones incluso su desecación por la falta de lluvias.

En la Ciudad de México los ecosistemas asociados con las zonas de descarga de Xochimilco no se encuentran ligados directamente a condiciones inmediatas de respuesta lluvia-escorrentía, sino a una descarga continua de agua subterránea, como parece ser la naturaleza de los flujos intermedios que se describen más adelante. Un aporte continuo de agua de manantial en el lago de Xochimilco permitió el establecimiento de especies con requerimientos específicos, en especial grandes ahuehuetes (*Taxodium mucronatum*), los cuales viven cientos de años y se localizan entre la planicie de la cuenca y el piedemonte (Durazo y Farvolden 1989), donde las condiciones naturales producían una descarga perenne de agua subterránea con baja salinidad.

Un caso de naturaleza contrastante con el anterior era el lago de Texcoco, donde la descarga de agua subterránea se caracterizaba por su alto contenido en sales; además de recibir el aporte proveniente del exceso de agua de lluvia que escurría hacia el lago. Este cuerpo lacustre constituía la parte más baja de la planicie, y era un sitio donde el agua se evaporaba, resultando en una acumulación y concentración de sales en el fondo del lago. La presencia de estas condiciones de descarga de flujo regional permitió la extracción de sal, lo que hizo de Sosa-Texcoco la principal empresa productora durante la segunda mitad del siglo XX (Rudolph *et al.* 1989).

La presencia de ahuehuetes y la acumulación de sales en el suelo son indicadores de una descarga constante de agua subterránea por diferentes sistemas de flujo que no se han visto afectados significativamente por ciclos de sequía en su aporte de agua (Durazo y Farvolden 1989, Tóth 2000). Es por ello que estudiar la calidad fisicoquímica particular de la descarga de cada sistema de flujo es una herramienta fundamental para entender la distribución geográfica de diferentes ecosistemas de la ciudad (Carrillo-Rivera *et al.* 2008, Peñuela-Arévalo y Carrillo-Rivera 2013).

Configuración hidrogeológica

Desde el punto de vista del agua subterránea, es primordial conocer la configuración hidrogeólogica regional y las características fisicoquímicas del agua para identificar las respuestas que pueden tener implicación en la definición de los ecosistemas presentes. Estas propiedades, aunadas al clima, permiten plantear las condiciones que influyen en el abastecimiento de agua con una calidad química (sales totales disueltas, oxígeno disuelto, metales, sodio) y características físicas (temperatura, pH) particulares en diversos sitios de la ciudad. Estas características, junto con el caudal, la forma de descarga del manantial en cada sitio (descarga dispersa en Texcoco o puntual en el resto del sistema) y la duración aportan elementos y condiciones necesarias que permiten la presencia de determinados ecosistemas. La relación agua subterránea-ecosistemas aún no es investigada; sin embargo, un ejemplo conocido pero no documentado es el de Xochimilco, donde se tiene la presencia de ahuehuetes, diversas especies de aves y de anfibios endémicos como el ajolote, los cuales no se presentan en otras partes de la cuenca de México o del país.

Edmunds *et al.* (2002) señalan que las unidades hidrogeológicas en esta cuenca consisten en un acuitardo1 altamente compresible (depósitos del Cuaternario-reciente) superpuesto parcialmente a un sistema de unidades acuíferas (véase Unidades geológico geomorfológicas de la Ciudad de México, en esta misma sección), de origen sedimentario (granular) y volcánico (fracturado), lo cual les confiere características hidráulicas contrastantes para el paso del agua (figura 2). Ortega y Farvolden (1989) describen cinco unidades hidrogeológicas que pueden consultarse en el cuadro 1 y cuyos parámetros incluidos son resultado de la recopilación de información de

diversos estudios (Mooser *et al.* 1997, Vázquez-Sánchez 1995).

Se estima que la profundidad de circulación del agua subterránea en la cuenca de México (flujo regional) es de más de 3 000 m. El gran espesor en conjunto de los sedimentos y rocas en el subsuelo, junto con su conductividad hidráulica, permite el movimiento del agua subterránea con una distribución regional, ocasionando que estos flujos se desplacen más allá de los límites de la cuenca de México. El agua subterránea se desplaza de forma natural entre los poros y fracturas de las unidades geológicas a velocidades del orden de centímetros a metros por año desde la zona de recarga hasta su descarga (Freeze y Cherry 1979).

La baja velocidad relativa con la que el agua subterránea se mueve en el plano horizontal, junto con la profundidad a la que circula, le permiten desarrollar una calidad fisicoquímica específica y contrastante; calidad que también depende de la altitud de la zona donde el agua de lluvia se recarga, ocasionando que el agua forme flujos con diferente composición química y jerarquía. De esta manera cada sistema de flujo puede ser claramente identificado (Carrillo-Rivera *et al.* 2008, Peñuela-Arévalo y Carrillo-Rivera 2013).

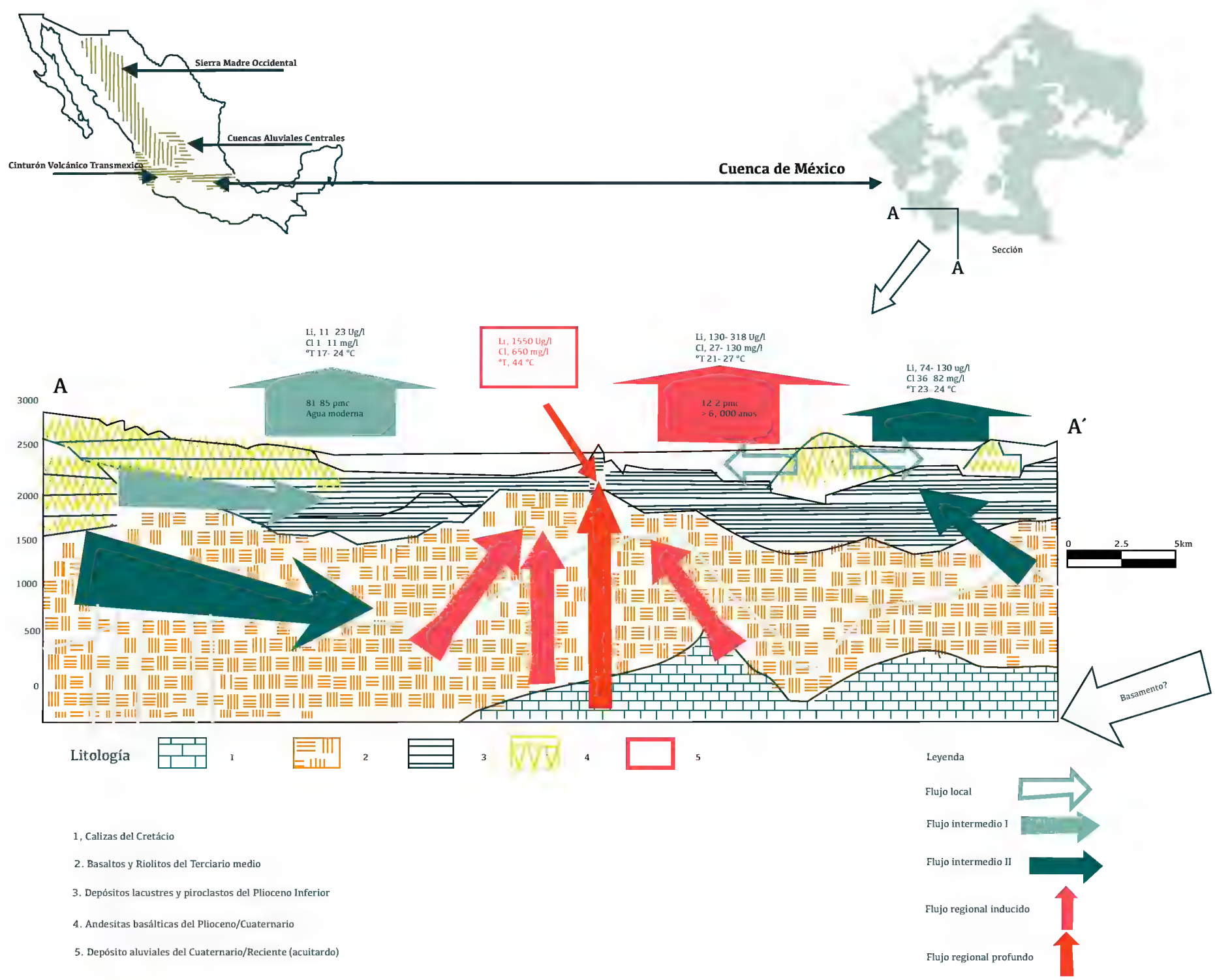


Figura 2. Sección hidrogeológica de la parte sur-oeste de la cuenca de México que indica los flujos de agua subterránea identificados. (?) hace referencia al desconocimiento de la profundidad del basamento. Fuente: Carrillo-Rivera *et al.* 2007.

Cuadro 1. Principales características de las unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca de México.

Unidad	Composición	Espesor (m)	Kh y Kv (ms-1)	Observaciones
Calizas del cretácico	Caliza, estratos de arenisca y lutita	>1,500	9x10-6; 1.8x10-6	Acuífero(?) debido a sus características kársticas (fracturas y oquedades de disolución)
Unidad volcánica del terciario medio	Rocas del Eoceno (basalto), Oligoceno (riolita) y Mioceno (andesita)	~3,000	4x10-6; 0.8x10-6	Acuífero
Depósitos del plioceno inferior3	Material lacustre y piroclástico	~6003	4x10-6; 0.8x10-6	Movimiento del agua subterránea factible
Secuencia del Plio-Cuaternario	Andesita basáltica, cuerpos dómicos de basalto, Andesita del Plioceno	~1,000	3x10-5; 1.0x10-7	Acuífero
Depósitos del Cuaternario-reciente	Depósitos aluvial y fluvial	600 m	Material aluvial: 5.0x10-5; 1.0x10-5 Acuitardo: 2.3x10-9 a 2.3x10-10	Acuitardo

Kh: conductividad hidráulica horizontal
Kv: conductividad hidráulica vertical
? : sujeto a verificación
Fuente: elaboración propia basada en Mooser *et al.* (1997) y Vázquez-Sánchez (1995).

El agua subterránea y sus jerarquías de flujo en la cuenca de México

La conformación geomorfológica de la cuenca de México (véase Unidades geológico geomorfológicas de la Ciudad de México en esta misma sección), con presencia de subcuencas y valles intermontanos incluidos en una topografía que va descendiendo desde zonas escarpadas hasta la planicie, permite la formación de flujos de jerarquía local e intermedia. El gran espesor y extensión de las unidades geológicas sobre las que se localiza la ciudad, su posición dentro de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) y la presencia de elementos de elevación del orden de ~5 000 msnm sugieren condiciones bajo las cuales esta unidad fisiográfica permite que se formen flujos de tipo regional.

Los resultados de estudios de carácter hidrogeológico bajo el enfoque de sistemas de flujo (Edmunds *et al.* 2002, Carrillo-Rivera *et al.* 2004, Huizar *et al.* 2004, Peñuela-Arévalo y Carrillo-Rivera 2013) han permitido caracterizar y tipificar físicoquímicamente la existencia de tres tipos de flujo (local, intermedio y regional); (figura 2). El agua de los flujos locales está constituida por manantiales intermitentes, y sus características son similares a las del agua de lluvia, es decir, bajos valores de concentración de sales disueltas, temperatura, conductividad eléctrica y pH. El agua de flujo regional cuenta con características totalmente opuestas a las observadas en el agua de flujo local, es decir, valores altos de pH, temperatura, conductividad eléctrica y concentración de sales disueltas. Esto se explica por la diferencia de magnitudes en el recorrido del agua por el subsuelo, siendo menor para los flujos locales y mayor para los regionales. Por su parte, las características fisicoquímicas del agua asociada con un flujo intermedio quedan incluidas entre aquellas de un flujo local y uno regional.

En la cuenca de México, la descarga de flujos de tipo local, asociada con la época de

lluvia, sucede por lo general en la parte alta de las montañas en forma de manantiales y usualmente es aprovechada por vegetación asociada a los ríos (Edmunds *et al.* 2002, Huizar *et al.* 2004, Peñuela-Arévalo y Carrillo-Rivera 2013). Históricamente, los flujos intermedios (figura 2) descargaban principalmente en el piedemonte, a través de manantiales perennes que abastecían a cuerpos de agua como los lagos de Xochimilco y México, en la actualidad, el agua de estos flujos es captada por pozos de abastecimiento de la ciudad. Por último, el agua termal, con una temperatura de 44°C, que se extrae del pozo del Peñón de los Baños es el referente más representativo de flujo regional; este flujo está asociado con la descarga al antiguo lago de Texcoco, caracterizada por su alta salinidad.

Con respecto al agua subterránea y los ecosistemas localizados al sur de la ciudad, es importante señalar los impactos que han sido resultado directa o indirectamente de la extracción no regulada de agua por medio de pozos. Por ejemplo, las zonas de recarga y descarga del agua subterránea han sufrido alteraciones en su dinámica original como resultado de la modificación de los sistemas gravitacionales de flujo. Dentro de estos impactos, uno poco conspicuo pero muy delicado es la alteración de la dirección de movimiento del flujo del agua. Un ejemplo de ello son las zonas de descarga (manantiales) existentes en condiciones naturales en la zona de Xochimilco, las cuales eran detectables todavía para fines de la primera mitad del siglo XX y que han cambiado en la actualidad (Ángeles-Serrano *et al.* 2008). Hacia fines de ese siglo, las condiciones de descarga fueron alteradas por aquellas de recarga, impacto que requiere un especial cuidado ya que el agua que se está utilizando para realizar la recarga en forma artificial es residual (industrial y doméstica), tratada sólo a nivel secundario. Dicha recarga artificial es efectuada a través de los mismos canales a los que se transfiere el agua residual para mantener su nivel. Esta práctica tiene repercusión en la calidad del agua asequible para los ecosistemas locales, así como en aquella ligada con los pozos de extracción vecinos a Xochimilco. La calidad del agua de los pozos que es usada para abastecimiento a la ciudad está en el proceso de deterioro, asemejándose ésta cada vez más al agua residual, con mayor concentración de cloruros, sulfato y estroncio, entre otros (Carrillo-Rivera *et al.* 2003).

Otro impacto asociado con la forma poco adecuada de extracción del agua subterránea es la modificación en la calidad del agua obtenida por pozos (Carrillo-Rivera y Ouysse 2013), en donde se induce la entrada de agua de flujo regional con mayor concentración de sodio, cloruro, fluoruro, boro y litio, así como con mayor temperatura, en zonas cercanas al Peñón de los Baños (figura 3). Todos estos parámetros son indicadores de que la población y los ecosistemas están sujetos a un cambio en la calidad del agua suministrada. Con el tiempo, los ecosistemas estarán obligados a utilizar agua con un componente de flujo cada vez mayor (en este caso de tipo regional), con características fisicoquímicas contrastantes a las del sistema que los ha abastecido (intermedio) históricamente. Esta dinámica de cambio en la calidad química del agua se ha dado principalmente por la extracción intensiva y deficiente del agua subterránea. Lo anterior pone de manifiesto la importancia de conocer las características de la calidad del agua involucrada, haciendo evidente la relevancia de definir la composición química e isotópica del flujo asociado (considerado como regional), para tener la posibilidad de establecer la relación de este sistema de flujo con los ecosistemas y así poder mantener las condiciones imperantes que son propicias para el desarrollo de cierto tipo de hábitat que ayudan a mantener las funciones de los ecosistemas y que, como consecuencia, dan sustento a la diversidad biológica.

Zonas de recarga y descarga, su localización

La TSGF señala que las zonas de recarga se encuentran a una altitud mayor que la de descarga. Las sierras Nevada, Chichinautzin, Las Cruces y Río Frío han sido tradicionalmente consideradas como zonas de recarga sin contar con mediciones o estudios científicos que lo validen, que en esencia indiquen hacia dónde circula y descarga el agua allí recargada. Por tal motivo, se requieren investigaciones que definan la localización de la zona de recarga para determinado flujo, en las que se procure hacer el seguimiento hasta el sitio en donde se encuentra su descarga asociada (Peñuela-Arévalo y Carrillo-Rivera 2013). Un resultado del trabajo de Edmunds *et al.* (2002) relacionado con la edad del agua del flujo regional allí reportada (>6 000 años), es que si se considera que ésta fluye con un gradiente hidráulico $dh/dl = 1.59 \times 10^{-3}$, en condiciones de conductividad hidráulica horizontal $Kh = 4 \times 10\text{-}6\ ms^{-1}$, y a través de una porosidad $n = 0.01$, se infiere que la zona de recarga de este flujo se localiza a una distancia radial mínima de 120 a 150 km del pozo muestreado, es decir, se sitúa a una distancia (a la redonda) fuera del límite superficial de la cuenca. Este resultado, por un lado, sustenta la validez del modelo de continuidad física de las formaciones geológicas debajo de la cuenca de México, con aquellas cuencas hidrográficas vecinas; por otro lado, hace evidente la necesidad de analizar cuál sería la localización de la zona potencial de recarga posible. Asimismo, pone de manifiesto la necesidad de aplicar la teoría de los sistemas de flujo de agua subterránea en el estudio de los denominados acuíferos.

Una herramienta útil en estudios hidrogeológicos para determinar la altitud en la que se genera la recarga del agua subterránea es el uso de isótopos (estables) ambientales. Sin embargo, para las condiciones de la información existente en México, la aplicación de la relación de los isótopos oxígeno-18 ($\delta 18O$) y deuterio ($\delta 2H$) está restringida a agua subterránea reciente o de poca edad (flujos locales principalmente) debido a la carencia de un registro del contenido de dichos isótopos en el tiempo geológico. En los trabajos de Peñuela (2007) y Peñuela-Arévalo y Carrillo-Rivera (2013) se realizó una evaluación del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos para la porción sur-oeste de la cuenca de México, con lo que se logró definir, dentro del referente geológico existente, la posición de algunas zonas de recarga a partir del análisis de datos químicos e isotópicos ambientales del agua subterránea colectada en zonas de descarga específicas. Estos autores propusieron el camino de circulación del agua por medio de una interpretación de la presencia de elementos químicos, por lo que obtuvieron una aproximación de la trayectoria de los flujos asociados e identificando la zona de recarga a partir de la descarga particular de agua subterránea (figura 4).

La altitud de recarga del agua de lluvia para el sur-oeste de la cuenca se determinó evitando incorporar muestras sometidas a los efectos de la evaporación. En estas condiciones, la posible altitud de recarga fue de 3.3 a 4.0 km snm, y fue posible diferenciar intervalos de altitud de 3.5 a 4.0 y 3.3 a 3.7 km snm para flujos locales e intermedios, respectivamente. La distribución de las zonas de recarga fue congruente con la TSGF, al estar localizadas en sitios topográficamente altos, así como por tener suelo ácido (en roca fracturada o permeable), un nivel freático profundo (sin manantiales) y vegetación escasa, o de tipo pino o pastizal.

Una aproximación de la identificación de estas zonas, considerando sólo aquellas de interés para flujos intermedio y regional, se encuentra en la figura 5. En ella se muestran zonas delimitadas como de descarga y recarga, donde se utilizaron condicionantes enmarcadas en la teoría de flujos bajo una integración de factores ambientales, tales como posición topográfica, tipo de vegetación, presencia de cuerpos de

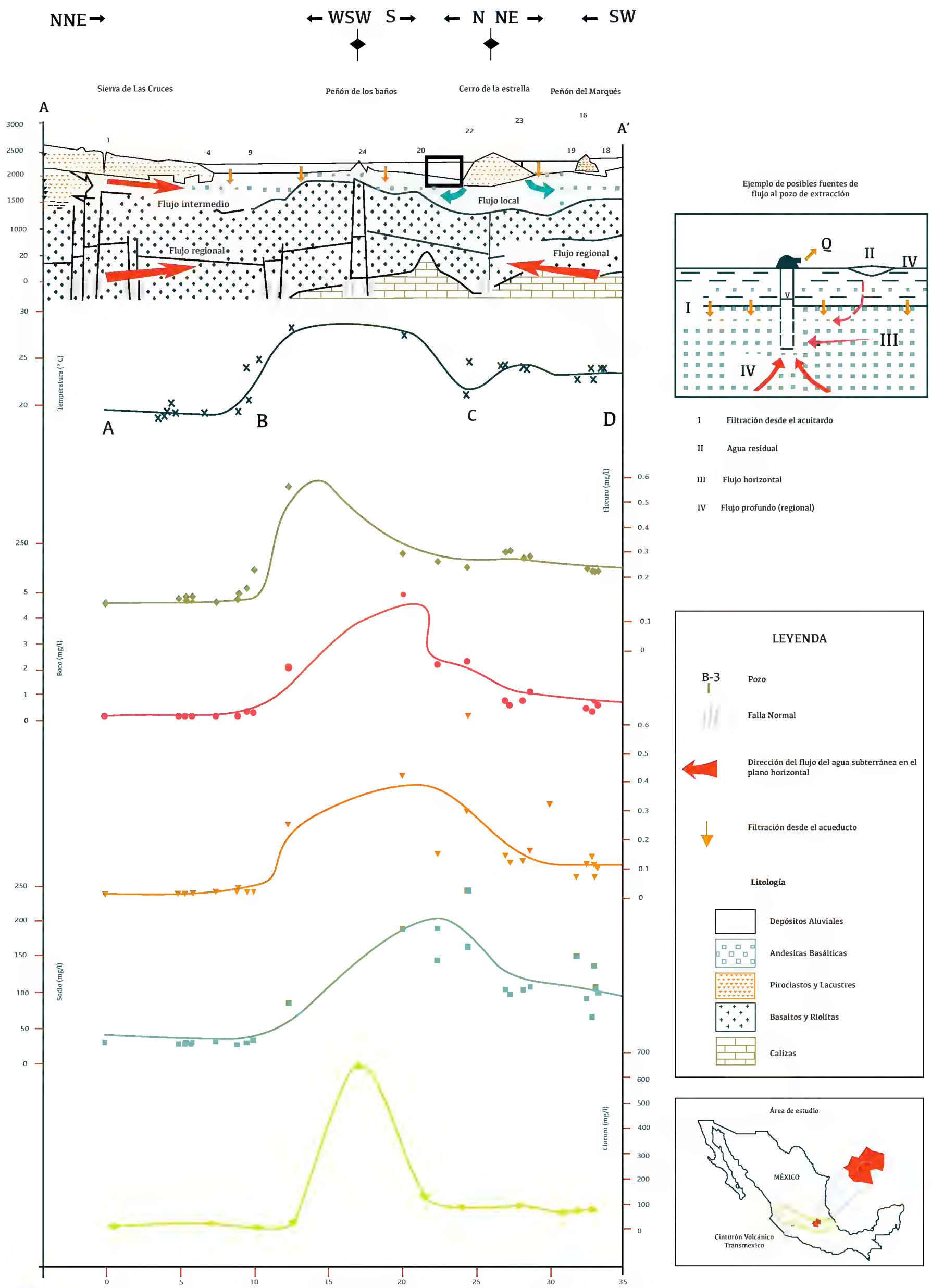


Figura 3. Evolución de la calidad química del agua en la sección hidrogeológica que muestra hacia su centro un ascenso de temperatura y deterioro de la calidad del agua obtenida por pozos de extracción con ~300 m de profundidad. Fuente: modificado de Carrillo-Rivera y Ouysse 2013.

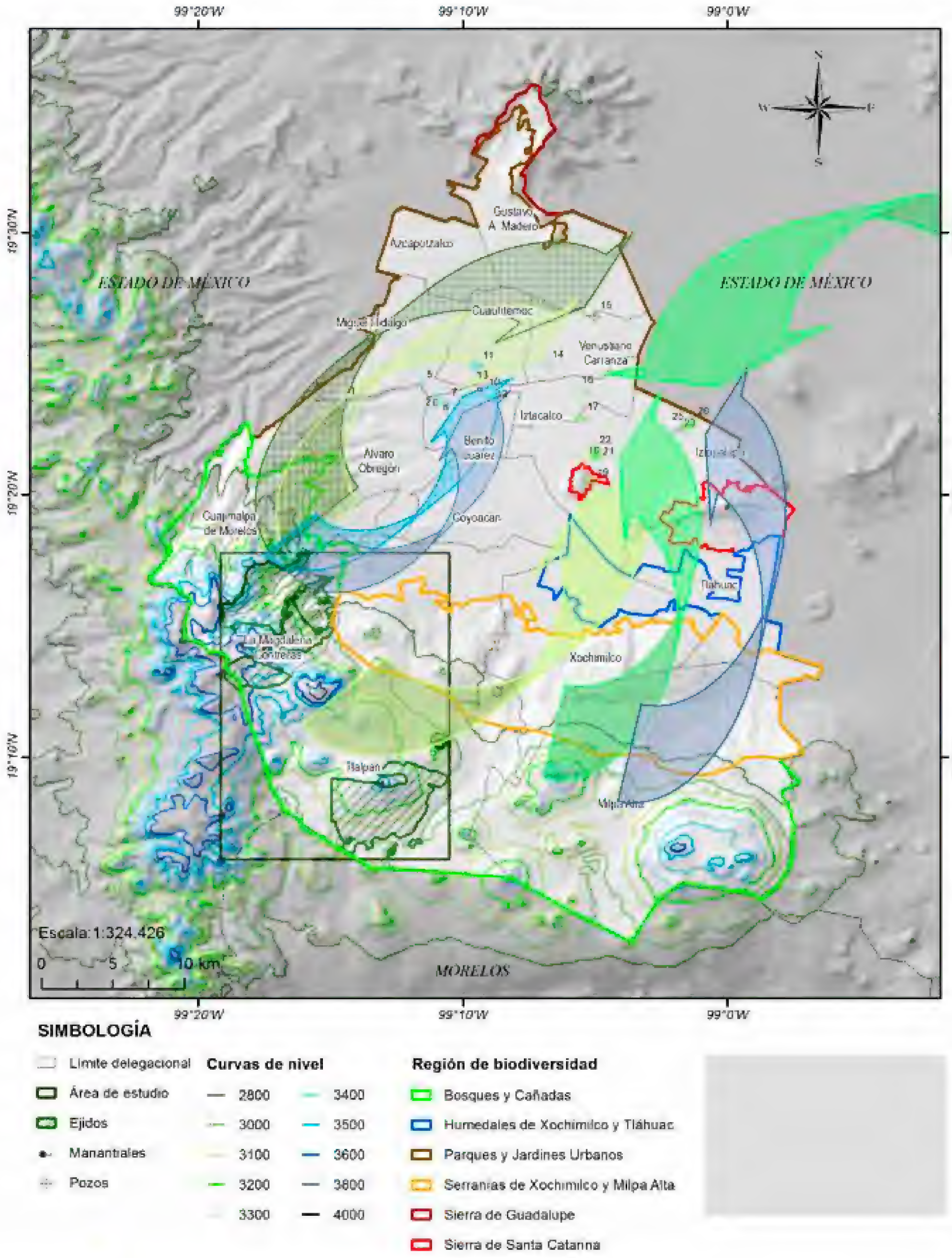


Figura 4. Altitud de precipitación de recarga (según color de curva de nivel) y posibles zonas de recarga; flujo (mismo color de altitud de la precipitación). Fuente: modificado de Peñuela 2007.

agua, tipo de escurrimiento, tipo de suelo y tipo de material geológico. Las zonas de descarga se identificaron y caracterizaron por tener alguno o todos los siguientes atributos: suelo salino-alcalino, vegetación halófila (afinidad por suelos con abundancia de sales) o freatófita (afinidad con sitios en donde se puede obtener el agua del nivel freático directamente), presencia de manantiales y humedales, y por estar localizadas en áreas topográficamente bajas. Las zonas de descarga se localizan y caracterizan más fácilmente que las de recarga. Adicionalmente, el análisis químico del agua colectada en las zonas de descarga brindó información del sitio donde se originó la recarga, información que pudo ser usada para identificar su altitud, el tipo de material geológico con el que tuvo contacto el agua recargada, así como su profundidad de recorrido (Peñuela-Arévalo y Carrillo-Rivera 2013).

En suma, la coincidencia geográfica de las zonas potenciales de descarga detectadas a partir de indicadores superficiales (suelo, litología, elevación topográfica, entre otros) y las diversas manifestaciones de agua en superficie permiten obtener una mejor identificación de las zonas de recarga de agua subterránea. De este modo, los programas ambientales que incorporen la dinámica de los flujos del agua subterránea pueden conducir a elaborar planes más eficientes de conservación de servicios ambientales de diversa índole (hidrológicos, biodiversidad, captura de carbono, etc.), para cumplir con el objetivo final de proteger la naturaleza y promover el desarrollo sustentable.

El crecimiento de la superficie urbana a costa de la cobertura vegetal y la disminución espacial de los cuerpos de agua se hace evidente a través del análisis de imágenes de satélite de años recientes. La intensa modificación de la cobertura vegetal y cuerpos de agua, aunada al manejo deficiente del agua proveniente de pozos, han causado alteraciones evidentes a escala local (decenas de kilómetros a la redonda).

La evidencia recopilada en campo sugiere que las actividades económicas y de apropiación de terrenos por el crecimiento de la población realizadas en suelo de la ciudad han impactado las zonas de descarga en forma importante. Una elevada proporción del crecimiento de la superficie urbana ha tenido lugar en estas zonas debido a que se localizan en regiones topográficas relativamente bajas, en donde es más fácil construir, el nivel del agua subterránea es somero y comúnmente es agua dulce. El efecto de los asentamientos urbanos sobre la descarga del agua subterránea ha sido directo, debido a la proliferación de pozos que ha abatido el nivel freático (otrora somero) a más de 80 m de profundidad (Edmunds *et al.* 2002). Esto ha afectado a su vez a los ecosistemas, cuya evolución y relación con flujos subterráneos es incierta. El estudio de dicha relación debería considerar la respuesta a las variaciones inducidas a lo largo del tiempo por las modificaciones de origen antropogénico, como es el caso de las fugas de agua de los sistemas de distribución municipal.

Tipo y cantidad de agua subterránea

Conocer el funcionamiento de los sistemas de flujo y darles la importancia que tienen ayudará a resolver algunos problemas relacionados con la respuesta del agua subterránea; por ejemplo, la operación de los pozos en forma eficiente, de acuerdo con el funcionamiento de los sistemas de flujo en la región de influencia del pozo permitiría tener el control sobre la calidad del agua obtenida. En cambio, la actual forma de extracción (y evaluación del agua subterránea) está ocasionando un deterioro en la calidad del líquido que se obtiene por medio de pozos.

La figura 3 muestra dos aspectos básicos sobre el comportamiento de la calidad del agua de pozo, la cual no es necesariamente constante con el tiempo de extracción. Las condiciones encontradas en la actualidad en

Figura 5. Delimitación general de zonas de recarga. Se incluyen zonas de descarga de flujo regional para la Ciudad de México y territorio vecino, con base en la integración de indicadores (suelo, topografía, vegetación y presencia de cuerpos de agua). Fuente: elaboración propia.

la zona de Xochimilco tipifican al primero de tales aspectos, en donde la alteración de la calidad es el resultado del ingreso (recarga) inducido de agua contaminada (agua residual), que se está importando al lago y los canales. El segundo aspecto es el deterioro de la calidad del agua extraída por la entrada de agua ascendente con calidad contrastante, lo cual es el resultado de la mezcla de diferentes flujos debido a la forma de extracción realizada. Ambos aspectos limitan sustancialmente la cantidad de agua asequible para la ciudad y han llevado el nivel freático a una profundidad que ha cambiado sensiblemente las condiciones de funcionamiento hidrológico del sur de la cuenca de México (Ángeles-Serrano *et al.* 2008).

Profundidad al nivel freático, su evolución y relación con el hundimiento

Un elemento importante desde la perspectiva ambiental en el sur de la Ciudad de México es la profundidad a la superficie freática, ya que cuando ésta es muy somera o aflora en superficie la descarga de agua sostiene especies biológicas y ecosistemas. Los cuerpos de agua de Xochimilco se originaron, entre otros factores, por la descarga natural de flujos local e intermedio de agua subterránea. Ángeles-Serrano *et al.* (2008) señalan que los principales impactos al ambiente allí identificados se deben a la extracción ineficiente del agua subterránea, la cual está ligada a la falta de incorporación del conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas de flujo de agua subterránea. La profundidad somera de la superficie freática puede ser inferida por el aporte continuo de agua de manantiales existentes, ya que estas descargas juegan un papel importante en la generación de las condiciones propicias para el sostenimiento de ecosistemas particulares y especialmente notorios al sur de la ciudad, donde la presencia de ahuehuetes (*Taxodium mucronatum*), es común. Dicha especie de árbol es considerada freatófila y tiene una longevidad de cientos de años, lo cual sugiere que durante largos periodos el nivel freático se mantuvo a pocos centímetros del suelo y no descendió por debajo de la raíz de los individuos de Xochimilco. Existe mucho por estudiar en cuanto a la relación vegetación-agua-ecosistemas, siendo escasos los trabajos que documenten cómo un elemento abiótico (agua), modifica elementos bióticos (vegetación). En tiempo reciente, la extracción ineficiente de agua subterránea al sur de la cuenca ha ocasionado que el nivel freático haya descendido a más de 80 m de la superficie (Edmunds *et al.* 2002). Desde el punto de vista de la escala local, los principales impactos directos e indirectos que han sido identificados para la zona de Xochimilco (Ángeles-Serrano *et al.* 2008) son los siguientes:

1. Desecado de manantiales, cuya desaparición coincide con el auge de la construcción de un gran número de pozos que operan incluso junto a manantiales; esta actividad se desarrolla desde fines de los años cincuenta en sitios de la cuenca vecinos a Xochimilco.
2. Desecación del lago de Xochimilco, la cual se ha tratado de compensar importando agua residual parcialmente tratada.
3. Efectos negativos en la vegetación debido a que sus raíces quedan por arriba y fuera del alcance del agua necesaria para su sustento.
4. La consolidación del suelo, la cual no muestra una relación directa con el incremento en la extracción de agua subterránea debido a la configuración litoestratigráfica del acuífero, como se señala posteriormente (figura 6).
5. Incremento en el deterioro de la calidad del agua subterránea que se extrae en pozos y que es potencialmente dañina para la salud de la población.
6. Gasto innecesario de energía usada para la operación de pozos.

Los primeros tres puntos encuentran su origen principalmente en la extracción intensiva del agua subterránea sin la incorporación previa del conocimiento sobre su funcionamiento, por lo que el diseño, construcción y operación de pozos ha ocasionado el descenso sin control del nivel freático. Lo anterior ha quedado reflejado en la consecuente afectación de los ecosistemas que estaban ligados a las manifestaciones superficiales del agua subterránea, en donde los hábitats existentes, otrora caracterizados por la presencia de cuerpos de agua y vegetación freatófila, pasaron a paisajes más secos, sin el equilibrio previo del sistema y sin las condiciones de vida por las cuales la flora y la fauna se distribuían a su alrededor. Debe quedar claro que las condiciones ambientales presentes en determinado lugar son resultado de una conjunción entre la disponibilidad de agua (subterránea y superficial), clima, material geológico, suelo, relieve, seres vivos y el resto de componentes de la naturaleza, por lo que cualquier perturbación a alguno de estos repercutirá en el funcionamiento integrado del sistema (Peñuela 2007).

A partir del análisis de datos obtenidos por la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal (hoy Ciudad de México), Ángeles-Serrano *et al.* (2008) ratifican que la relación entre la subsidencia (hundimiento) del suelo y la extracción de agua subterránea en la cuenca no es lineal. En la figura 6 los valores de subsidencia disminuyen a pesar del aumento reportado para la extracción de agua en la cuenca. Adicionalmente, Carrillo-Rivera *et al.* (2002) mencionan que para el año 2000 se obtuvieron a nivel local, valores positivos de velocidad de subsidencia (0.02 m/año) en la vecindad de Xochimilco sugiriendo un efecto contrario a lo esperado.

De acuerdo con Ángeles-Serrano *et al.* (2008), la subsidencia en la zona sujeta a conservación ecológica de los ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco se debe a la disminución de la presión hidráulica en el acuífero en extracción, que se encuentra cubierto por un acuitardo, el cual mantiene mayor presión que el acuífero; esta condición produce un flujo vertical descendente de agua subterránea que se mueve al acuífero desde el acuitardo. Una posible explicación que se reporta en tal estudio, en cuanto a la disminución observada del hundimiento, es que el aumento en la extracción de agua produjo un abatimiento de la superficie freática por debajo de la base del acuitardo, situación que limitó el flujo vertical descendente de agua del acuitardo al acuífero. La razón de esto es la formación de una zona de baja conductividad hidráulica (zona no saturada) entre el acuitardo y el acuífero, que limita el flujo del primero hacia el segundo, estabilizando, o para términos prácticos, disminuyendo sustancialmente la velocidad de hundimiento del suelo.

Con referencia al punto 5, se insiste que los impactos ambientales identificados en el sur de la ciudad se relacionan con el desconocimiento de la respuesta a la extracción del flujo subterráneo y la consecuente inducción de flujos de jerarquía regional a la calidad del agua subterránea. Se debe recordar que la extracción de agua inició con flujos locales, pero su calidad está evolucionando a la de un flujo regional (Carrillo-Rivera y Ouysse 2013), efecto que tiene que ver con el punto 6, ya que el abatimiento en los pozos es la respuesta a su propia construcción y operación.

Discusión

Las alteraciones al comportamiento hídrico de la cuenca iniciaron con el empleo de las técnicas asociadas a la agricultura y ganadería que introdujeron los españoles en el siglo XVI. Después, con la construcción de obras hidráulicas para el desagüe de la cuenca de México, el continuo crecimiento de la población, así como el incremento de necesidades básicas para mantener las actividades económicas, el nivel de alteración aumentó. Todo esto ha

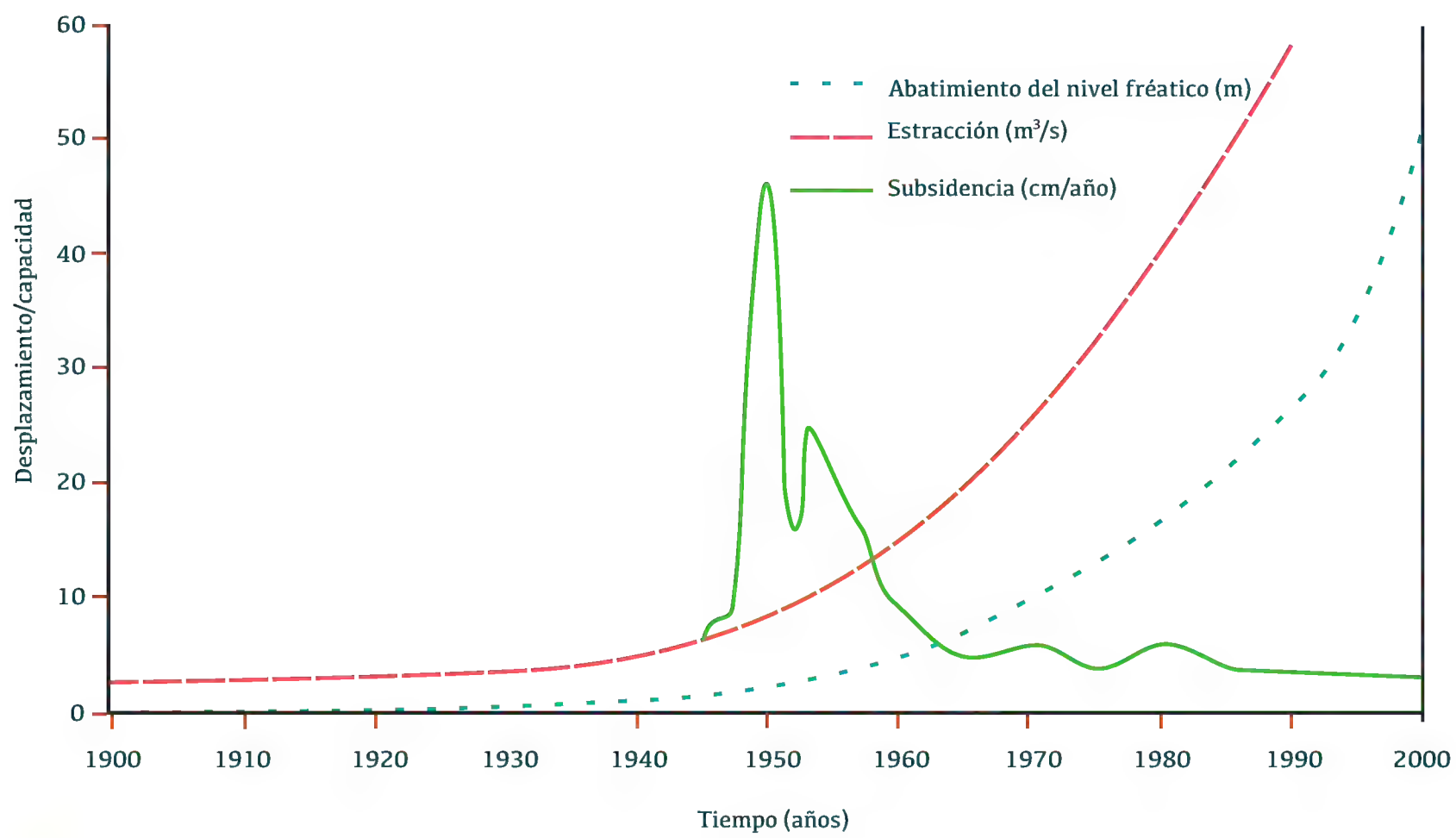


Figura 6. Relación entre la extracción de agua subterránea, el abatimiento del nivel freático y la subsidencia del terreno en Xochimilco. Fuente: Ángeles-Serrano *et al.* 2008.

llevado al incremento en la extracción del agua subterránea a profundidades cada vez mayores, sin que en realidad exista un entendimiento claro de la respuesta a dicha acción, en términos de la calidad química del agua obtenida y de la subsidencia inducida (Ángeles-Serrano *et al.* 2008). A este panorama desorganizado de acción-efecto se sumó la innecesaria importación de agua de otras cuencas hidrográficas (Barkin 2008), como las del Lerma y Cutzamala, que aporta 8 m^3/s a la ciudad; agua que significa sólo alrededor de 30% de los 24m^3/s reportados como "pérdidas" de agua para la ciudad, por lo que sería recomendable la reparación de las tuberías y conductos para un aprovechamiento racional del agua, evitando así la importación de volúmenes de agua de otras cuencas y minimizando los impactos ambientales que conlleva.

La extracción del agua subterránea realizada sin conocer su dinámica y su interacción con el entorno ha resultado en impactos negativos para los ecosistemas. En este contexto resulta indiscutible la necesidad de una reevaluación de las decisiones con respecto al agua subterránea, en donde sería deseable tomar en cuenta los procesos que se dan en el suelo, subsuelo, la calidad química y física del agua, así como en la relación del agua subterránea con el resto de las componentes de la naturaleza, incluyendo ecosistemas. Esta omisión ha influido en la grave situación ambiental tanto de la cuenca de México como de diversas regiones del país, hecho que sugiere que los problemas ambientales continuarán en aumento hasta que no se realice un cambio en cómo se conceptualiza y visualiza el entorno natural con respecto al agua subterránea.

Asimismo, Sánchez (2007) señala la falta de interés de la sociedad en conocer los procesos hidrológicos que se relacionan con el aporte del agua que la ciudad requiere (fuente de origen, intermitencia, abundancia o escasez, calidad química y biológica), a pesar de su uso cotidiano y de la gran cantidad de discursos sobre su uso razonado. Por otro lado, tampoco se han previsto los impactos negativos causados a los ecosistemas y la

población por nuevas obras hidráulicas en la cuenca, lo que ha tenido como consecuencia el desecamiento de manantiales y arroyos, el hundimiento del terreno, el cambio en la calidad del agua extraída, la incidencia de inundaciones, la exacerbación de procesos de erosión y la pérdida de ecosistemas, entre otros efectos (Carrillo-Rivera *et al.* 2008). Así, el Gobierno del Distrito Federal (2004) señala que el estado de conservación al 2003 de los ecosistemas en su territorio asociados con vegetación tipo pastizal es de regular a malo, con pocas zonas en buen estado y con tendencia a pérdida por desecamiento. En este sentido, es difícil poder evaluar los efectos reales sobre los sistemas, incluyendo los acuáticos, debido al poco conocimiento (y monitoreo) que se tiene de ellos y las presiones de un sistema económico basado en el abuso de los recursos naturales para abastecer un consumo desmesurado de agua, dentro de un esquema de manejo carente de un ordenamiento territorial que permita el crecimiento sostenible de la ciudad e igualmente de los ecosistemas asociados a la cuenca (Sánchez 2007).

Es preciso recalcar la necesidad de realizar un análisis interdisciplinario de la naturaleza, en el que se incluya el comportamiento e influencia de los diferentes parámetros del subsuelo. Esto permitirá que los programas que se planteen a futuro sean más confiables, evitando la desaparición de diversos componentes de los ecosistemas y promoviendo además el control de la cantidad y calidad del agua para uso potable.

Conclusión

Actualmente se ha empezado a reconocer la importancia de entender la dinámica del agua subterránea en el comportamiento sistémico del ambiente, al admitir su relevancia e influencia en las condiciones presentes en la superficie y tener presente que los cambios que ocurren en los flujos son detectables en superficie y viceversa. La falta de conocimiento de la dinámica de la naturaleza, evidenciada a través de los efectos negativos observados por la extracción de agua subterránea, ha ocasionado la alteración del comportamiento de valiosos ecosistemas y ha provocado, en algunos casos, su pérdida.

La TSGF es una herramienta que ha demostrado ser útil para establecer tanto el funcionamiento como la jerarquía de los flujos involucrados. Por tal motivo es clara la necesidad de su aplicación para comprender el comportamiento ambiental, en particular la relación entre el agua subterránea con otros componentes del ambiente. Además, es necesario implementar metodologías de manejo más avanzadas que no comprometan el agua asequible, no sólo a las generaciones futuras, sino que permita una coexistencia con la biodiversidad de la cuenca. Es necesario tomar en cuenta para evaluaciones ambientales futuras la importancia de las funciones del agua subterránea dentro del ecosistema.

El conocimiento de la dinámica del agua de manera sistémica permitirá el diseño, construcción, operación de obras hidráulicas más eficientes, así como un atinado ordenamiento territorial que incorpore límites de crecimiento de la ciudad. Esto tendrá que involucrar el adecuado manejo general del agua, incluyendo su obtención con una calidad apta para consumo humano, uso agrícola o industrial, así como la disminución de los efectos negativos sobre los ecosistemas.

Por otra parte, resulta evidente la necesidad de fomentar investigaciones relacionadas con los procesos asociados al hundimiento del suelo, debido a que éste es atribuido casi en su totalidad a la extracción intensiva de agua por pozos. Sin embargo, los resultados observados en Xochimilco, donde la subsidencia y extracción de agua subterránea no tiene una relación lineal, sugieren la presencia de otros factores como las condiciones hidrogeológicas, el comportamiento del material geológico, la forma de extracción, el peso de la infraestructura

urbana y el cambio de la temperatura del agua, entre otros (Ángeles-Serrano *et al.* 2008). El conocimiento claro de estos procesos permitirá, por un lado, proteger más eficazmente los ecosistemas asociados a la presencia de agua subterránea y, por el otro, permitirá determinar las condiciones particulares y acercarse más a la relación subsidencia-extracción de agua en esta región. Sin embargo, se torna evidente que una mayor extracción del agua sin medidas precautorias, elaboradas con un conocimiento basado en una respuesta soportada por un monitoreo que sea interpretado bajo la TSGF, ocasionará efectos negativos como la disminución de la calidad del agua subterránea extraída, la generación de impactos ambientales y la pérdida de ecosistemas.

Cada vez es más relevante que en estudios ambientales, y en particular en aquellos sobre los ecosistemas, los aspectos hidrológicos sean analizados tomando en cuenta los límites físicos y no administrativos. Esto permitirá visualizar escenarios a escala regional, incorporando en lo posible las variables relevantes del sistema, para así obtener resultados más cercanos a la realidad sobre lo que sucede a escala local, en particular con la biodiversidad. De esta forma es deseable entender el funcionamiento de las diversas componentes regionales de la naturaleza, incorporando las condiciones locales existentes. Tal entendimiento permitirá establecer programas exitosos de conservación de la biodiversidad, entre otros, para proteger funciones ecológicas, además de las especies endémicas, amenazadas o en algún estatus de conservación.

Finalmente, es relevante subrayar que los procesos de la dinámica del agua subterránea aquí indicados muestran una variación con el tiempo. Es decir, los flujos y los sitios de descarga/recarga pueden variar de una estación a otra e incluso pueden variar entre años, y evidentemente pueden ser influenciados por acciones del ser humano. Esto implica que el monitoreo de parámetros ambientales (i.e. precipitación, temperatura, salinidad del agua, hundimiento, respuestas por alteraciones producidas por el hombre, entre otros), debe ser continuo para permitir el entendimiento de los procesos y funciones ambientales, y así posibilitar la deducción de las respuestas de los ecosistemas para salvaguardar su propia integridad.

Referencias

Ángeles-Serrano, G., M. Perevochtchikova y J.J. Carrillo-Rivera. 2008. Posibles controles hidrogeológicos de impacto ambiental por la extracción de agua subterránea en Xochimilco, México. *Journal of Latin American Geography*, 7(1): 39-56.

Barkin, D. 2008. Una nueva cultura del agua para el abasto urbano en México. En: *El agua potable en México. Historia reciente, actores, procesos y propuestas*.R. Olivares y R. Sandoval (coords.). Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México. México.

Carrillo-Rivera, J.J., G. Ángeles-Serrano, G.G. Hernández y T. Hergt. 2003. Estudio de hidrología subterránea sobre el área de Xochimilco. Instituto de Geografía IG-UNAM, bajo la gestión de la SMA y la UNESCO, a través del Programa Rector de Restauración Ecológica del Área Natural Protegida y Zona Sujeta a Conservación Ecológica Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

Carrillo-Rivera, J.J., A. Cardona y W.M. Edmunds. 2002. Use of abstraction regime and Knowledge of hydrogeological conditions to control high fluoride concentration in abstracted groundwater: basin of San Luis Potosí, Mexico. *Journal of Hydrology* 261: 24-47.

——. 2007. Groundwater flow functioning in arid zones with thick volcanic aquifer units: north-central Mexico. International Symposium on Advances in Isotope Hydrology and its Role in Sustainable Water Resources Management (HIS-OIEA) Proc. Vol. 1, 199-211. 21-25 de mayo de 2007, Vienna.

Carrillo-Rivera, J.J., A. Cardona, R. Huizar-Álvarez y E. Graniel. 2008. Response of the interaction between groundwater and other components of the environment in Mexico. *Environmental Geology* 2: 303-319.

Carrillo-Rivera, J.J. y S. Ouysse. 2013. Groundwater Salinity Due to Urban Growth. En: *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology: Springer Reference.* Meyers R. (Ed.) <*www.springerreferencie.com*>, última consulta 22 de febrero de 2016.

Carrillo-Rivera J.J., M. Perevochtchikova, M. Táutiva, *et al.* 2004. Definición de indicadores de impacto al recurso hídrico en zonas receptoras de pago por servicios ambientales hidrológicos 2003-2004. Instituto Nacional de Ecología (IE/UNAM), IG/UNAM, 91 pp.

Durazo, J. y R.N. Farvolden. 1989. The groundwater regime of the valley of Mexico from historic evidence and field observations. *Journal of Hydrology* 112: 171-190.

Edmunds, W.M., J.J. Carrillo-Rivera y A. Cardona. 2002. Geochemical evolution of groundwater beneath Mexico City. *Journal of Hydrology* 258: 1-24.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2004. Hacia la agenda XXI de la Ciudad de México. GDF/Friedrich Ebert Stiftung. México.

Florescano, E., J. Sáncho y Cervera y D. Pérez-Gavilán-Árias. 1980. Las sequías en México: historia, características y efectos. *Comercio exterior* 30(7): 747-757.

Florescano, E. y S. Swan. 1995. *Breve historia de la sequía en México.* Universidad Veracruzana (uv).

Freeze, R.A. y J.A. Cherry. 1979. *Groundwater.* Prentice-Hall, Inc.

Huizar-Álvarez, R., J.J. Carrillo-Rivera, G. Ángeles-Serrano, *et al.* 2004. Chemical response to groundwater extraction southeast of Mexico City. *Hydrogeology Journal* 12: 436-450.

SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1992. Ley de Aguas Nacionales. Publicada el 1 de diciembre de 1992 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 24 de marzo del 2016.

Mooser, F., A. Montiel y A. Zuñiga. 1997. Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos (1937-1996). Comisión Federal de Electricidad. México, 27 pp.

Ortega, A.G. y R.N. Farvolden. 1989, Computer analysis of regional groundwater flow and boundary conditions in the Basin of Mexico. *Journal of Hydrology* 110: 271-294.

Peñuela, L. 2007. *Proceso de recarga-descarga de agua subterránea en zonas receptoras de pago por servicio ambiental hidrológico, Sierras Nevada y Las Cruces-México.* Tesis de maestría. IG-UNAM. México.

Peñuela-Arévalo, L.A. y J.J. Carrillo-Rivera. 2013. Discharge areas as a useful tool for understanding recharge areas, study case: Mexico Catchment. *Environmental Earth Sciences* 68(4): 999-1013.

Rudolph, D., I. Herrera y R. Yates. 1989. Groundwater flow and solute transport in the industrial well fields of Texcoco saline aquifer system near Mexico City. *Geofísica Internacional* 28(2): 363-408.

Sánchez, Ó. 2007. Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. En: *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México.* Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez-Huitzil y L. Zambrano (eds.). SEMARNAT/Instituto Nacional de Ecología (INE)/US Fish/Wildlife Service/Unidos para la Conservación/Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. México.

SEMARNAT/CONAGUA. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional del Agua. 2011. *Estadísticas del agua en México.* Gobierno Federal. México.

Tóth, J. 1962. A Theory of Groundwater Motion in Small Drainage Basins in Central Alberta, Canada. *Journal of Geophysical Research* 67(11): 4375-4388.

——. 1970. A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment. *Journal of Hydrology* 10:164-176.

——. 1995. Hydraulic continuity in large sedimentary basins. *Hydrogeology Journal* 3(4): 4-17.

——. 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero* 111(4): 9-26.

Vázquez-Sánchez, E. 1995. *Modelo conceptual hidrológico y características hidráulicas del acuífero en explotación en la parte meridional de la Cuenca de México.* Tesis de maestria. Instituto de Geofísica, UNAM. México.

Wallick, E.J. y J. Tóth. 1976. Methods of regional groundwater for analyses with suggestions for the use of environmental isotopes. Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology. International Atomic Energy Agency. Viena, pp. 37-64.

Costos e impactos de los servicios ecosistémicos que el valle de Tula presta a la Ciudad de México

Blanca Elena Jiménez Cisneros
Alma Chávez Mejía

Introducción

De acuerdo con Balvanera y Cotler (2007) el concepto de los servicios ecosistémicos se generó para entender cómo y en qué medida el ambiente natural incide en el bienestar humano. En efecto, los ecosistemas aportan servicios que, aunque muchas veces a simple vista resulten valiosos, sólo en ocasiones se pueden expresar en términos económicos. El presente texto tiene la finalidad de presentar la estimación económica de los servicios ecosistémicos que el valle de Tula presta a la Ciudad de México, derivados del tratamiento de sus aguas residuales de forma natural. Ello es novedoso ya que tradicionalmente sólo se considera el servicio que la Ciudad de México ha prestado y presta al valle de Tula al enviarle por más de 110 años agua residual sin tratar, ya que aunque con ello ha provocado enfermedades gastrointestinales, resultó útil para promover la agricultura local que se tornó en motor de desarrollo. Los servicios ecosistémicos que el valle de Tula presta, consisten no sólo en depurar el agua residual de la ciudad, que estaría obligado a hacerlo en plantas depuradoras y en cumplimiento de la normatividad, sino que también será un nuevo sitio de suministro de agua, ya que en un futuro se plantea recuperar el agua depurada en el suelo agrícola para consumo humano.

Uso y demanda de agua por la ciudad

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se compone de la zona urbana ubicada en la Ciudad de México y 37 municipios conurbados. Este texto presenta sólo datos de la primera, pero se reconoce que el problema del manejo del agua para la ciudad debe analizar la zona completa, lo anterior debido a que las fuentes de agua son las mismas, al igual que la infraestructura de suministro, drenaje y tratamiento, las cuales fueron diseñadas y son operadas como una unidad. Así, para entender bien los problemas y solucionarlos, es importante analizarlos en su conjunto.

En la zona metropolitana, se estima que en 2008 se empleaban en promedio 85.7 m^3/s, de los cuales 91% correspondía a agua de primer uso y el restante 9% a agua reutilizada. El agua de primer uso proviene de dos cuencas externas, la del Lerma (6%) y la del Cutzamala (25%), el resto es aportado por el río Magdalena, algunos manantiales y el acuífero regional del valle de México, este último representa 66% del suministro. Por otra parte, 81% del agua de primer uso se distribuye mediante la red de distribución, mientras que el resto es directamente extraído del acuífero por agricultores e industriales. De los 78 m^3/s que circulan en la red, aproximadamente 32-33 m^3/s, es decir 41%, corresponde a la Ciudad de México (Jiménez 2008).

Jiménez-Cisneros, B. y A. Chávez-Mejía. 2016. Costos e impactos de los servicios ecosistémicos que el valle de Tula presta a la Ciudad de México. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 165-171.

Parte del agua que es usada en la Ciudad de México y que se recolecta en el alcantarillado, junto con el agua pluvial, se trata en 27 depuradoras. Toda el agua tratada, aproximadamente un total de 3.1 m^3/s, se reúsa en la ciudad para llenado de lagos y canales recreativos, lavado de automóviles y riego de áreas verdes (Jiménez 2008). El resto se mezcla en el drenaje con el agua residual producida por los municipios conurbados para ser llevada en su conjunto al valle de Tula. En este valle desembocan las tres salidas artificiales que se abrieron en la cuenca de México, originalmente cerrada, para desalojar el agua residual y el exceso de agua pluvial de la Ciudad de México y evitar las inundaciones.

Descripción del valle de Tula

El valle de Tula se encuentra aproximadamente a 100 km al norte de la Ciudad de México, 130 m por debajo de su nivel. El clima es semiárido, BS1kw(i')gw' (García 1980), con una precipitación pluvial de 550 mm al año (el promedio para México es de 760 mm, CONAGUA 2010). En contraste, la evapotranspiración es de 1 524 mm, por lo que se pierde casi tres veces el agua que llueve. Además, la época de lluvias comprende sólo de junio a septiembre (Jiménez 2008). En general, los suelos eran pobres en materia orgánica y nutrimentos, y junto con la escasa precipitación hacían que la agricultura fuera poco productiva. De hecho, la vegetación original está compuesta por matorrales xerófilos, principalmente mezquites (*Prosopis juliflora*), huizaches (*Acacia farnesiana*), yucas (*Yucca* spp.), así como una gran diversidad de cactáceas (González 1968) que todavía se observan en las partes montañosas, fuera de la zona de riego.

A finales del siglo XVIII, el valle de Tula comenzó a recibir el agua residual sin tratar de la Ciudad de México. Los primeros reportes sobre su empleo para el riego en zonas cercanas al río Salado datan de 1896 (Cruz-Campa 1965). En forma oficial, la reutilización inició en 1889, aprovechando el agua para la generación de energía en las hidroeléctricas de Juandhó y La Cañada (Domínguez 2001), y en 1912, para riego agrícola (Cruz-Campa 1965). Desde entonces, el riego se practica por inundación. La disponibilidad continua de agua todo el año, junto con su contenido de materia orgánica y nutrimentos que actúan como fertilizantes del suelo, permitió desarrollar tres importantes distritos de riego que hoy representan casi 85 450 ha (CONAGUA 2008).

En comparación con la zona de temporal, se observó que en donde se utiliza agua residual se levantan de tres a cinco cosechas por año en lugar de una o dos y los rendimientos son de 71 a 150% superiores para la alfalfa, la avena forrajera, el tomate, la cebada y el maíz (Jiménez *et al.* 1999 *a* y *b*). Los principales cultivos regados con agua residual son maíz y alfalfa, ambos forrajeros, y representan de 60 a 81% de la producción, dependiendo del ciclo agrícola (CONAGUA 2009). Otros cultivos de la zona, en mucha menor proporción, son el frijol, el trigo, el chile, la calabacita y el betabel.

Jiménez (2006) reporta un evidente beneficio económico de los dueños de los terrenos con acceso al agua residual para el riego, ya que el precio de la renta de parcelas con agua residual es mayor (3 500 a 9 400 pesos/ha/año en 2006), en comparación con parcelas de temporal (1 700 pesos). De hecho, las rentas en 2011 son aun más altas, de 7 000 a 18 000 pesos/ha/año (Mendoza, com. pers.). Así, en forma inesperada, el empleo del agua residual resultó un beneficio para una región que no tenía otras opciones de desarrollo. A pesar de ello, el utilizar agua residual para riego significó también costos, principalmente por la mayor incidencia de enfermedades, tan sólo las enfermedades causadas por parásitos en niños menores de 14 años son 16 veces más altas que las de niños que no están expuestos al agua residual (Cifuentes 1998). Además, hay otros efectos cuyos costos han sido poco explorados en el país, ya que autores como Moore y colaboradores (2001) y Berkman y

colaboradores (2002) han encontrado para Brasil que la población que con frecuencia sufre de parasitosis tiene un menor desarrollo físico y mental al crecer, mismo que se estima en varios centímetros menos de estatura y una decena de puntos menos de coeficiente intelectual o iq.

Servicios ecosistémicos del valle de Tula: la depuración del agua de la ciudad

Un aspecto sorprendente del valle de Tula es que el transporte del agua residual en los canales, su almacenamiento en presas y su empleo para riego, tiene como resultado la depuración del agua residual. Diversos estudios (BGS-CONAGUA 1998, Jiménez *et al.* 1997 y 1999*a*, Downs *et al.* 2000 y Chávez *et al.* 2011) han demostrado que el suelo actúa de manera similar a una planta convencional de tratamiento y en algunos casos incluso mucho mejor; los suelos eliminan cerca de 98% de la materia orgánica medida como DBO (demanda bioquímica de oxígeno), 96% de nitrógeno, 93% de fósforo, 65 a 98% de microorganismos, así como otros contaminantes en concentraciones que van de 65 a 100%. Además, la presencia de cultivos y otras plantas, algunas de ellas no nativas de la región sino de zonas con características de agua en abundancia, han conformado una cobertura vegetal que ha protegido al suelo de la erosión y fijado carbono en el mismo. A la par, ello también ha significado la acumulación en el suelo de contaminantes que no se degradan, como son los metales pesados, en tres a seis veces los niveles que se tenían originalmente hace 80 años (Siebe y Cifuentes 1995).

Una estimación preliminar, considerando sólo los datos para la Ciudad de México, establece que en 2010 la utilización de la superficie de suelo de Tula como método de tratamiento representó un ahorro para la Ciudad de México de 5 430 millones de pesos. El beneficio económico neto para el valle de Tula, considerando los ingresos por la agricultura menos los costos para tratar las parasitosis de 37% de la población, es de 1 861 millones de pesos; el resultado es que ambas partes salen beneficiadas aunque la ciudad en mayor medida.

Posibles servicios futuros

El tratamiento del agua residual no es el único servicio que el valle Tula pudiera prestar a la ciudad (figura 1). Algunos escenarios futuros de los gobiernos Federal, de la Ciudad de México y el Estado de México plantean que además contribuya al suministro de agua (Jiménez 2008). Gran parte del agua residual que se envía al valle de Tula termina recargando el acuífero y los ríos locales. Así que para 1998 esta recarga fue de por lo menos 25 m^3/s (BGS-CONAGUA 1998). El principal río del valle (el río Tula), incrementó en casi ocho veces su caudal original en 50 años. Además, de la zona salen casi 8 m^3/s adicionales para ser empleados en la Hidroeléctrica de Zimapán. La recarga incidental del acuífero ha ocurrido en tal magnitud y por tanto tiempo que el nivel freático (nivel superior del acuífero a presión atmosférica) se ha elevado a tal grado que han aflorado diversos manantiales que han creado estanques y lagos con una gran diversidad biológica, algunos de los cuales se aprovechan para cultivar peces (Jiménez *et al.* 1999*b*). Al mismo tiempo, el nuevo ecosistema agua-suelo-planta ha favorecido la aparición de nuevos hábitats y mejorado el ambiente al crear diversos microclimas. Además, a nivel local se extraen del acuífero 9.4 m^3/s, 15% para fines industriales (Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos, la refinería Miguel Hidalgo, las cementeras Cruz Azul y Tolteca y una petroquímica), 26% para actividades agropecuarias y 59% para consumo doméstico (Jiménez *et al.* 1998). Actualmente, los manantiales junto con los nuevos pozos someros constituyen la única fuente de abastecimiento para la población local de más 500 mil personas, quienes

reciben el agua después de una simple cloración (Jiménez *et al.* 1998).

Diversos estudios muestran que el agua del acuífero de Tula es de buena calidad, equivalente a cualquier fuente de suministro de agua (Sotomayor-Garza 1998, Jiménez *et al.* 1997, 1998, 2004, BGS-CONAGUA 1998, Gallegos *et al.* 1999, Downs *et al.* 2000, cepis 2002, Gibson *et al.* 2007, Chávez *et al.* 2011) y que por su ubicación podría ser la opción más barata para suministrar agua adicional a la ciudad (el costo sería de aproximadamente 2.5 pesos/m^3, contra 5.8 pesos/m^3 del río Temascaltepec del Sistema Cutzamala, u 8.6 pesos/m^3 del Amacuzac o Tecolutla); incluso resulta mucho más barata y menos riesgosa que tratar el agua residual *in situ* a un costo de 10 pesos/m^3. Ello ocurre porque en la mayoría de los sitios los pozos y manantiales cumplen con casi todos los parámetros de la norma de agua potable (NOM-127-SSA1-1994, Secretaría de Salud 2000), así como con 288 parámetros adicionales recomendados por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés, 2004). Sin embargo, hay también evidencia de otros constituyentes que no están regulados y que aun cuando se encuentran en muy bajas concentraciones (Gibson *et al.* 2007, Jiménez *et al.* 2008 y Chávez *et al.* 2011) implican el empleo de proceso de potabilización mucho más complejo y costoso que la simple cloración. De ser así, de acuerdo con los estudios anteriormente citados, Tula podría aportar al menos 6 m^3/s de agua, lo que considerando una tarifa promedio de agua potable para la ciudad representa en términos económicos 378 millones de pesos anuales.

Consideraciones éticas para la planeación hídrica

Independientemente de los servicios ecosistémicos que pueda prestar el valle de Tula en un futuro, convendría preguntarse cuál es el límite del tamaño de la ciudad para que sea sostenible en términos hídricos. Si se considerara no traer más agua de fuera del valle y reducir las fugas 20%, se calcula que la ZMCM podría sostener con una dotación medida en las casas de 150 litros por habitante por día[1] (L/hab/d), a cerca de 14.2 millones de personas. Si bien parece muy difícil reducir la población actual de la ciudad, se considera que con políticas apropiadas, como sería la generación de fuentes de trabajo y la mejora de los servicios urbanos en otros sitios, ello sería posible. Además se debe tener presente que los ciudadanos han demostrado en muchas ocasiones ser proactivos (por ejemplo, la implementación del programa "Hoy no circula", la movilización civil después de terremotos, el pago del Fondo Bancario de Protección al Ahorro [FOBAPROA], etc.).[2] Pero, de no plantearse esta política, es claro que la ciudad no puede crecer más, y si lo hace, convendría hacer aparentes los costos que su desarrollo representa en los ecosistemas de otras regiones, en particular respecto al agua.

En el caso de que la población o el consumo de agua continúen creciendo, las opciones desde la perspectiva del suministro de agua consisten en aplicar lo que se conoce como "ciclo cerrado", en el cual toda el agua usada se reutilice. Lo anterior implica tratar el agua residual para beberla de nuevo, toda vez que la reutilización para fines no potables ha sido previamente satisfecha. Sin embargo, esta medida significaría dejar al valle de Tula sin agua, a pesar de los costos que ha ahorrado a la ciudad por el tratamiento de la misma y de que fue la propia ciudad quien propició su crecimiento poblacional y económico por medio del envío del agua residual. De hecho, el Distrito de Riego 03 es dueño de parte del agua residual de la ciudad, ya que desde 1955 tiene en concesión 26 m^3/s (SRH 1955). Por ello, y porque los agricultores prestan su suelo para tratar el agua de la ciudad se debería plantear

[1] En todos estos casos, a pesar de las afectaciones, los ciudadanos apoyaron las decisiones del Gobierno con quejas mínimas.

[2] Si se considera el 37-40% de fugas de la red, cada citadino cuenta con 150 a 170 L/hab/d, valores cercanos o iguales a los 150 L/hab/d recomendados a nivel internacional para uso en ciudades.

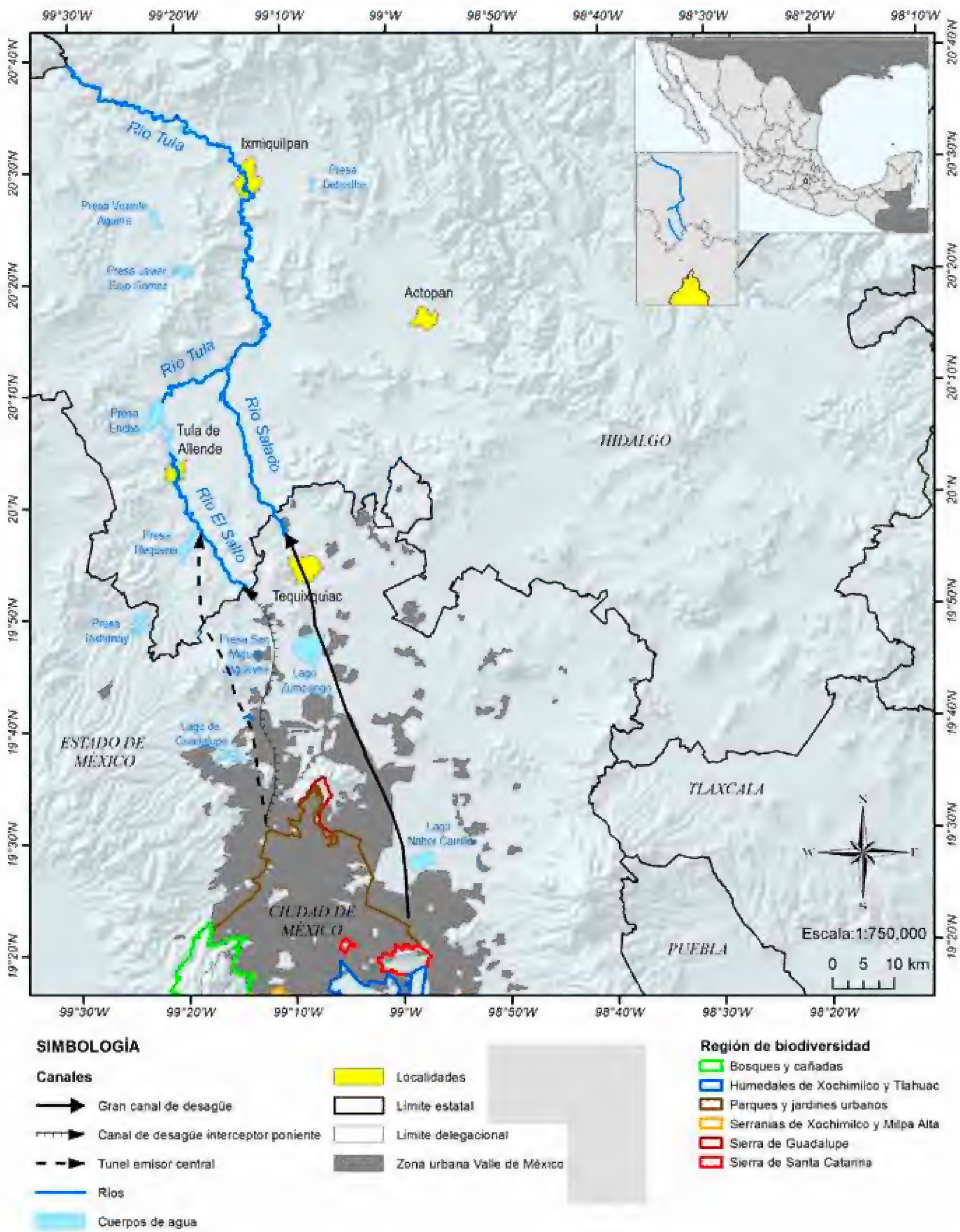


Figura 1. Ubicación y beneficios ecosistémicos. a) Al valle de Tula: depuración natural de los contaminantes (tratamiento natural tipo sat) sin costo; almacenamiento y disponibilidad de agua (tipo asr); seguridad por desalojo del agua residual (disminución de inundaciones), b) A la Ciudad de México: fortalecimiento de la agricultura por reciclado de nutrientes y materia orgánica; disponibilidad de agua para riego agrícola, uso industrial y abastecimiento. Fuente: elaboración propia con datos de Jiménez y *et al.* 2004 y Jiménez 2008.

un pago por estos servicios ambientales. Además, hay una pregunta ética por resolver de cuya respuesta se derivan diferentes opciones técnicas: quién debe salir beneficiado en el futuro y quién no. Una de las respuestas permitiría responder a las necesidades y beneficios de ambas regiones; consiste en seguir enviando el agua que se requiere para riego en el valle de Tula; pero con un tratamiento apropiado que controle los patógenos que provocan las enfermedades y que siga aportando agua, materia orgánica y nutrimentos al suelo. Llevando a cabo la propuesta anterior, seguiría desarrollándose la agricultura y se recargaría el acuífero local con agua tratada, la cual podría ser regresada con bajo costo de tratamiento a la ciudad. En lugar de lo anterior, el Gobierno Federal ha elegido tratar en el futuro el agua con una tecnología tres veces más costosa (Jiménez 2005) y con el resgo de que al eliminar la materia orgánica y los sólidos suspendidos del agua residual, esta podría movilizar metales y otros contaminantes que están retenidos en la fracción orgánica del suelo del valle de Tula, contaminando así el agua que se desea reutilizar.

Conclusión

El valle de Tula ha prestado un servicio ecosistémico a la Ciudad de México que consiste en depurar su agua residual al grado que el agua tratada se constituyó en una fuente potencial de suministro para la ciudad. Este servicio se puede evaluar en términos económicos con el resultado de que la ciudad ha salido mucho más beneficiada que el valle de Tula, al contrario de lo que con frecuencia se piensa. En efecto, si bien Tula ha recibido beneficios económicos por el empleo del agua residual, los costos de depuración que debiera pagar la Ciudad de México para cumplir la norma son mucho mayores, y los costos por trasladar agua de otras partes lo son aún más. De continuar creciendo la Ciudad de México, y dado que se está ya muy cerca del consumo recomendable per cápita, se requerirá más agua. Las opciones para suministro de agua son más caras que recuperar el agua tratada del valle de Tula. Reconocer este servicio de depuración tanto en términos económicos como sociales es una cuestión de ética ya que sólo se ha usado al valle de Tula para limpiar el agua residual de la ciudad sin pago alguno y ahora se plantea quitarle el agua depurada.

Referencias

Balvanera, P. y H. Cotler. 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta ecológica*, Instituto Nacional de Ecología, México, número especial 84-85, 8-15.

Berkman, D.S., A.G. Lescano, R.H. Gilman, *et al.* 2002. Effects of stunting, diarrhoeal disease, and parasitic infection during infancy on cognition in late childhood: a follow-up study. *The Lancet* 359: 564–571.

BGS/CONAGUA. British Geological Survey/Comisión Nacional del Agua. 1998. Impact of wastewater reuse on groundwater in the Mezquital valley, Hidalgo State, Mexico. Final Report. British Geological Survey. México.

CEPIS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. 2002. Sistemas integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Estudio complementario del caso Mezquital, Estado de Hidalgo, México. Convenio: IDRC-OPS/HEP/CEPIS, México.

Chávez, A., C. Maya, R. Gibson y B. Jiménez. 2011. The removal of microorganisms and organic micropollutants from wastewater during infiltration to aquifers after irrigation and farmland in the Tula Valley, Mexico, *Environmental Pollution* 159: 1354-1362.

Cifuentes, E. 1998. The epidemiology of enteric infections in agricultural communities exposed to wastewater irrigation: Perspectives for risk control, *International Journal of Environment and Health* 75, 177-178.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2008. Estadísticas del agua en México. México.

——. 2009. Estadísticas del Agua de la Región Hidrológica-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. SEMARNAT, México.

——. 2010. Estadísticas del agua en México, edición 2010. SEMARNAT, México.

Cruz-Campa, S. 1965. *Rehabilitación Integral del Distrito de Riego 03*, Tula, Hgo. Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, 163 pp.

Domínguez, R. 2001. El sistema principal de drenaje del Área Metropolitana del Valle de México. Series del Instituto de Ingeniería. CI-22.

Downs, T., E. Cifuentes, E. Ruth y I. Suffet. 2000. Effectiveness of natural treatment in a wastewater irrigation District of the Mexico City region: a synoptic field survey. *Water Environment Research* 72(1) 4-21.

Gallegos, E., A. Warren, E. Robles, *et al.* 1999. The Effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico, *Water Science and Technology* 40(2): 45-52.

García, E. 1980. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: México.* Offset Larios e Hijos, Impresores. México.

Gibson, R., E. Becerril-Bravo, V. Silva-Castro y B. Jiménez. 2007. Determination of acidic pharmaceuticals and potential endocrine disrupting compounds in wastewaters and spring waters by selective elution and analysis by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography* 1169: 31-39.

González, L. 1968. *Tipos de vegetación del Valle del Mezquital.* Paleoecología 2, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.

Jiménez, B. 2005. Treatment technology and standards for agricultural wastewater reuse: a case study in Mexico. *Irrigation and Drainage* 54(1): 23-33.

——. 2006. Irrigation in developing countries using wastewater. *International Review for Environmental Strategies* 6(2): 229-250.

——. 2008. Water and Wastewater Management in Mexico City. En: *Integrated urban water management in arid and semi-arid regions around the world.*Mays, L. (ed.). Taylor and Francis Group Ltd. Leiden, pp. 81-112.

Jiménez, B., A. Chávez, y C. Hernández. 1999*a*. Alternative treatment for wastewater destined for agricultural use. *Water Science and Technology* 40: 355-362.

Jiménez, B., A. Chávez y R. Pérez. 1999*b*. Evaluación de la aplicabilidad de membranas para potabilizar el agua del acuífero del Mezquital. conagua/unam. México.

Jiménez B., A. Chávez, R. Gibson, *et al.* 2008. Complemento de la caracterización del agua de consumo humano en el valle de Tula. Convenio No. PSVM/ODA/ATE/AD13/06. P 6344. Fideicomiso del Valle de México.

Jiménez, B., C. Cruickshank, S. Capella, *et al.* 1998. Estudio de la factibilidad de empleo del agua del acuífero del Valle del Mezquital para suministro del Valle de México. CONAGUA/Fideicomiso del Valle de México/UNAM. México.

Jiménez, B., N. López y C. Sotomayor. 1997. *Estudio de la calidad y suministro del agua para consumo doméstico en el Valle del Mezquital.* CONAGUA/UNAM. México.

Jiménez, B., M. Mazari, R. Dominguez y E. Cifuentes. 2004. El agua en el Valle de México pp. 15-55. En: *El agua en México vista desde la academia.*B. Jimenez y L. Marin (eds.). Academia Mexicana de Ciencias. México.

Mendoza, M. 2011, Director del Distrito de Riego 03 de la Comisión Nacional del agua. Comunicación personal, noviembre.

Moore, S., A.M. Lima, M.R. Conaway, *et al.* 2001. Early childhood diarrhoea and helminthiases associate with long-term linear growth faltering. *International Journal of Epidemiology* 30: 1457-1464.

SRH. Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1955. Acuerdo que establece el Distrito Nacional de Riego de Tula, Hgo. Diario Oficial de la Federación, 20 de enero de 1955.

Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Publicada el 20 de junio de 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

Siebe, C. y E. Cifuentes. 1995. Environmental impact of wastewater irrigation in central México: An overview. *International Journal of Environment and Health* 5, 161-173.

Sotomayor-Garza, C. 1998. *Alternativas de tratamiento del agua de abastecimiento de agua potable en el Distrito de riego 03 del Valle del Mezquital.* Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México.

WHO. World Health Organization. 2004. En: Guidelines for drinking-water, *<http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf>*, última consulta noviembre 2011.

Contexto histórico y social

Foto: Cesar Hernández Hernández

2

Resumen ejecutivo

Contexto histórico y social

José Antonio Rosique Cañas
Sergio Alejandro Méndez Cárdenas

La posición geográfica del territorio mexicano, su complejo sistema montañoso, historia natural y variedad de climas, contribuyeron a formar un mosaico de condiciones ambientales que propiciaron una gran variedad de formas de vida, lo que se conoce como biodiversidad. Esa riqueza natural no se encuentra distribuida uniformemente; entre las zonas de montaña con mayor biodiversidad destaca la Faja Volcánica Transmexicana, que atraviesa el territorio de costa a costa, desde Nayarit hasta Veracruz. Esa formación montañosa se encuentra en el lugar donde convergen las dos grandes regiones biogeográficas del continente americano: la Neártica y la Neotropical. Dicha ubicación determina la gran diversidad biológica que caracteriza a este impresionante macizo montañoso donde se encuentra la cuenca de México, en la que está ubicada la Ciudad de México.

La vinculación entre los primeros pobladores de la cuenca y sus recursos biológicos ha sido muy estrecha y con un gran conocimiento de sus especies, ecosistemas y los ciclos biológicos que le otorgaban diversos beneficios a su sistema de lagos en distintas épocas del año. Los medios de producción, comunicación, transporte y mantenimiento de la población en esta cuenca han estado fundados en la adaptación y conocimiento de las condiciones naturales, y ha llegado a tener, hacia finales del siglo XV, el área densamente más poblada del planeta.

Los impactos más severos a la cuenca donde se asienta actualmente la Ciudad de México y los municipios conurbados del valle de México tienen un origen histórico, basado en las transformaciones del paisaje lacustre durante la colonia. Esto ha incluido la introducción de especies exóticas y tecnologías desvinculadas con la realidad ecológica.

En los inicios de la vida independiente de México, la ciudad pasó por diversos cambios en sus políticas de desarrollo, que incluían apostar por la industrialización y la desecación de los lagos; las vías de comunicación se mejoraban, lo que propició la expansión del área urbana y las consecuentes implicaciones en la demanda de servicios y sus efectos.

Aún en nuestros días, en la memoria colectiva de los *huehues* (ancianos), persiste el recuerdo de las condiciones naturales, sobre todo de humedales al sur de la ciudad, en los que se podía hacer uso sostenible de algunas especies (como peces, ranas, ajolotes, tortugas y patos) con fines de subsistencia.

Rosique-Cañas, J.A. y S.A. Méndez C. 2016. Resumen ejecutivo. Contexto histórico y social. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 175-177.

Actualmente, esta ciudad es considerada una de las megalópolis globales más grandes del mundo, y su población mantiene una dinámica indisociable entre las 16 delegaciones y los 59 municipios del Estado de México, más de uno del estado de Hidalgo. Su expansión se acentuó principalmente entre la década de los sesenta y los ochenta, y aunque se ha logrado estabilizar la curva de crecimiento, zonas como Milpa Alta (ubicadas en el tercer contorno de la ciudad) continúan con un notable desarrollo respecto a las demás zonas. Lo más preocupante de esta situación es que dicho crecimiento se genera en la región de Bosques y Cañadas, la cual brinda una importante provisión de diversos servicios ambientales.

Dado que la mancha urbana de la ciudad se sigue expandiendo sobre el suelo de conservación, y a pesar de que ya existen leyes federales, bandos, planes y programas delegacionales, con organismos respectivos para regular ese fenómeno humano tan complejo y sus recursos naturales, incluyendo su rica biodiversidad, sigue habiendo amenazas, principalmente, por parte los siguientes factores:

1. Alteración de hábitats: cambio de ecosistemas naturales a agroecosistemas con fuerte incorporación de procesos tecnológicos que alteran suelos y recursos hídricos e insumos artificiales.
2. Sobrexplotación: extracción de fauna y flora a una tasa mayor de la que puede ser sostenida por la capacidad reproductiva natural de la población que se está aprovechando.
3. Contaminación química: se refiere a los desequilibrios ecológicos producidos por sustancias tóxicas provenientes de fuentes industriales, por ejemplo: óxidos de azufre, de nitrógeno, oxidantes, lluvia ácida, agroquímicos y metales pesados, los cuales se depositan en el agua, el suelo y la atmósfera, alterando la vida silvestre y la de los seres humanos.
4. Cambio climático: los cambios en los patrones regionales de clima, como el incremento de bióxido de carbono que produce alteraciones regionales, entre las que se encuentra "El Niño", y efectos locales, como la desertización que afecta drásticamente los biomas mundiales, como es el caso de los Humedales de Xochimilco-Tláhuac, sobrevivientes del gran sistema de cinco lagos que conformaban la cuenca central.
5. Especies introducidas: en muchos casos estas especies han reemplazado a las especies nativas de peces, como la carpa (*Cyprinus carpio*), la tilapia (*Oreochromis niloticus*) y la lobina negra (*Micropterus salmoides*) en los canales de Xochimilco.
6. Incremento de la población humana: invasión de los suelos de conservación para vivienda, mayor demanda de bienes y servicios, así como sobreexplotación y destrucción de recursos naturales (agua, flora y fauna silvestre), además de emisiones y descargas contaminantes.
7. Sequías, inundaciones, incendios, vulcanismo, sismos, etcétera.

Por tal motivo, como se plantea en este capítulo, es necesaria la participación y coordinación de los diversos actores, entre los diversos órganos de

gobierno y sus dependencias, organizaciones de la sociedad civil, académicos, industriales, entre otros, para enfrentar los retos ambientales que la metrópolis tendrá en un futuro cercano. Estos enfoques deben de plantearse dentro de un eje transversal de enfoque de género, en donde la participación de las mujeres es vital para hacer compatible el desarrollo, la conservación de los recursos biológicos y su uso sustentable.

Historia ambiental de la cuenca de México

José Antonio Rosique Cañas
Sergio Alejandro MéndezCárdenas

De las glaciaciones hasta la llegada del ser humano al continente americano

Hace 2 millones de años, durante el periodo geológico del pleistoceno, la Tierra experimentó una serie de enfriamientos en los polos; éstos se prolongaron hasta el estadio glacial wisconsiniano, que sucedió entre 70 y 30 mil años antes del presente. Las migraciones entre Asia y América por el estrecho de Bering datan de hace al menos 15 mil años (Ezcurra 1996).[1] Los primeros pobladores llegaron a Mesoamérica[2] hace 11 mil años. Para la cuenca,[3] el registro genético más antiguo del teocintle (*Zea mexicana*), posible ancestro del maíz (*Z. mays*), se encontró en Zohapilco, en el sur de la cuenca de México, datado en 7 mil años (McClung de Tapia y Zurita-Noguera 2000).

Florescano y Eissa (2008) aseguran que la expansión del ser humano en el continente coincidió con la retirada de los hielos de la última glaciación, hace alrededor de 13 mil años, y, al mismo tiempo, con la extinción de muchas especies de grandes mamíferos y herbívoros, posiblemente por la caza desmedida a manos del ser humano como nuevo depredador, organizado en pequeños grupos, capaz de fabricar herramientas y desarrollar artes de caza y de captura, aunque no con habilidades para domesticar animales, salvo los que más adelante desarrollaron diferentes culturas (por ejemplo, los náhuatl en la cuenca de México con el guajolote).

En esta cuenca, según Niederberger (2001), los habitantes de Tlapacoya, hoy municipio de Ixtapaluca, Estado de México, tuvieron "acceso directo o de corto radio a diferentes zonas ecológicas, ricas en recursos perennes o estacionales: bosques de robles, de pinos y de alisos, suelos aluviales de alto nivel freático y medios lacustres".

Durante todo el año podían explotar la fauna lacustre: pez blanco (*Chirostoma* sp.), pez amarillo (*Girardinichthys* sp.), ciprínidos (*Evarra* sp.), así como el pato mexicano (Anas platyrhynchos diazi) y la amplia población de gallinas de agua (*Fulica americana*). En los bosques cazaban diferentes tipos de mamíferos, como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*).

Entre los recursos específicos de la estación de lluvia figuraban el amaranto (*Amaranthus* sp.), el género *Zea* (maíz y teocinte), el tomate

[1] Los primeros apartados de este trabajo se inspiraron en el capítulo III de Ezcurra (1996), "Historia ambiental de la cuenca", cuya fuente aparece citada al final.

[2] Área geográfica limitada al norte por los ríos Pánuco, Lerma, Sinaloa y hacia el sur por el río Motagua, en Honduras, el lago de Nicaragua y el golfo de Nicoya, en Costa Rica. El término Mesoamérica fue establecido en 1943 por Paul Kirchhoff: área de interacción humana que comparte características culturales y tecnológicas que la distinguen de regiones vecinas. Destacan: el cultivo del maíz que se cocía y molía con cal; el uso de la coa o bastón plantador; la construcción de pirámides escalonadas; una escritura jeroglífica; la utilización de un año de 18 meses, 20 días, cinco adicionales y una especie de "siglo" de 52 años; creencias religiosas a las que correspondían sacrificios, autosacrificios y múltiples dioses; mercados especializados, mercaderes, y órdenes militares con tradiciones bien definidas (Florescano y Eissa 2008).

[3] La cuenca de México cubre un territorio mucho más grande que la Ciudad de México y la zona metropolitana del valle de México, pues ésta se delimita por los umbrales montañosos, a partir de los cuales 45 grandes ríos formados por los escurrimiento de sus laderas responden a cauces que originalmente se depositaban en el sistema lacustre formado por los cinco grandes lagos que se unían en tiempo de lluvias (Legorreta 2008). Entonces la cuenca de México abarca una parte de los actuales territorios de los estados de México, Tlaxcala e Hidalgo, así como casi toda la ciudad, tal y como se aprecia en el mapa del libro Ciudad de ciudades, publicado por la Fundación para el Fortalecimiento de los Gobiernos Locales A.C. (Rodríguez 2005).

Rosique-Cañas, J.A. y S.A. Méndez C. 2016. Historia ambiental de la cuenca de México. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 178-189.

verde (*Physalis* sp.), la verdolaga (*Portulaca oleracea*), el anfibio comestible conocido como axolotl (*Ambystoma mexicanum*) y algunos reptiles tales como la tortuga del género *Kinosternon*.

Uno de los rasgos más notables en los sistemas de explotación de los recursos regionales era la caza de la densa población de aves acuáticas, en particular la explotación, durante el otoño y el invierno, de las aves migratorias provenientes del norte del continente: colimbos (*Gavia immer*), avocetas (*Recurvirostra americana*), agachadizas (*Gallinago delicata*), gansos del Canadá (*Branta canadensis*) y patos silvestres (*Anas acuta, A. clypeata, A. cyanoptera* o *Aythya* sp.) (Niederberger 2001).

Hace 7 500 años, los habitantes de Tlapacoya explotaban diferentes ecosistemas de la región, por lo que todo el año ofrecían la totalidad de los recursos alimenticios necesarios, así como el agua dulce del lago y de manantiales. Todos estos factores tuvieron como consecuencia una ocupación sedentaria temprana del territorio, tal como lo prueba el hallazgo de vestigios de actividades multiestacionales y de recursos alimenticios de todas las estaciones del año en las zonas de hogares del sitio.

La ocupación humana de la cuenca de México: vínculos y adaptación social con la biodiversidad

Según Florescano y Eissa (2008), en Mesoamérica habitaron más de 100 grupos étnicos, se hablaron más de 200 lenguas y se utilizaron 38 calendarios. Los restos humanos más antiguos en esta región que se han recuperado a la fecha son los de Tlapacoya y los de Peñón de los Baños, en la Ciudad de México, datados con 11 mil y 8 mil años de antigüedad, respectivamente.

La historia prehispánica se ha dividido en cuatro periodos, en cada uno, las comunidades humanas se encontraban estrechamente ligadas con la geografía y la biodiversidad, en donde la disponibilidad de flora y fauna marcó los procesos de adaptación y cambio entre cada periodo y fases de su desarrollo.

1. Periodo arcaico. Inicia con los cambios climáticos y la extinción de la mega fauna (mamuts, mastodontes, camélidos y caballos) entre los 9 mil y 4 mil años. Destacan la domesticación del guajolote (*Meleagris gallopavo*), hace 5 mil a 4 800 años (Valadez y Arrellín 2000), y el surgimiento de la agricultura, hace 4 mil años. Comprende tres fases: una primera fase recolectora (entre 9 000 y 7 700 años), una segunda fase de agricultura temprana (entre 7 700 y 5 800 años) y una tercera fase semisedentaria (entre 5 800 y 4 000 años).
2. Periodo formativo o preclásico. Inicia con la agricultura y el desmonte de selvas y bosques y la creación de los primeros estados-ciudad y complejas redes de comercialización de alimentos: maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus* spp.), chile (*Capsicum* sp.) y calabaza (*Curcubita* spp.), entre 4 000 y 1 750 años (siglo 2 000 a.n.e. a 250 d.n.e.).[4]
3. Periodo clásico. Entre 1 750 y 1 200 años (250 a 900 d.n.e.). Se consolidan y colapsan los Estados mayas en el sureste mexicano. En la Ciudad de México la población de Cuicuilco llegó a contar con 20 mil habitantes que migraron a Teotihuacán, convirtiéndola en la ciudad-Estado más grande del periodo y dejando a la Ciudad de México con poblaciones rurales dependientes de la metrópoli teotihuacana.
4. Periodo posclásico. Entre 1 200 y 490 años (900 a 1521 d.n.e.). Se crea la mayor ciudad-Estado en la cuenca de México, Tenochtitlán. Los animales en la cosmovisión indígena del altiplano central se consolidan, el croar de las ranas se asocia con la llegada de las lluvias, los anfibios aparecen ataviados en azul como ayudantes de Tláloc y el cocodrilo era el primero de los signos del calendario ritual nahua (Florescano y Eissa 2008).

[4] Antes de nuestra era, a.n.e.; después de nuestra era, d.n.e.

En el periodo preclásico los primeros poblados grandes empezaron a formarse en la cuenca de México; los cuicuilcas iniciaron en el 1200 a.n.e., con una población de más de 22 mil habitantes, pero su espacio de asentamiento fue destruido por la explosión del Xitle, entre el 200 a.n.e. y 200 d.n.e. En el periodo preclásico tardío surge Teotihuacán al norte de la cuenca, convirtiéndose en el año 1 en una gran ciudad, al lograr que casi todos los campesinos de la cuenca fueran reubicados en la periferia. Para el año 150, esa ciudad albergó 80 mil habitantes en una extensión de 20 km^2. Ya en el periodo clásico, hacia el año 550 d.n.e., alcanza los 100 mil habitantes, convirtiéndose en la sexta ciudad más grande del mundo, pero entre 600-650 d.n.e. la población desciende a 70 mil habitantes (Pérez-Campa 2007).

Esta drástica disminución demográfica se atribuye posiblemente a la sobrexplotación de los recursos naturales y a la carga ecológica de los tributos en especie que se exigían a los grupos sometidos. La sobreexplotación de los recursos naturales semiáridos que rodean Teotihuacán y la falta de una tecnología apropiada para explotar los terrenos fértiles inundables de la cuenca fueron quizás los factores decisivos para su colapso en el año 750 d.n.e.

Muchas otras culturas se asentaron en los márgenes de los lagos antes y durante la llegada de los chichimecas, entre ellas la de los mexicas, que se establecieron en Xoloc. Los que ya se encontraban allí, los acolhuas, tepanecas y otomíes, ocupaban las márgenes occidentales del lago por los rumbos de Azcapotzalco, Tlacopan y Coyohuacan, mientras que grupos de influencia tolteca se encontraban establecidos al oriente en Culhuacán, Chimalpa y Chimalhuacán.

El desarrollo de nuevas técnicas agrícolas basadas en el riego por inundación del subsuelo y en la construcción de canales permitieron un aumento en las densidades poblacionales. En los campos cultivados con la técnica de las chinampas, los canales servían a la vez como vías de comunicación y de drenaje, mientras que la agricultura en campos rellenados con el sedimento extraído de los canales permitió un mejor control de las inundaciones. Los grupos residentes fueron aprendiendo a reemplazar la falta de grandes herbívoros con la caza y recolección de productos de los lagos y de los canales, entre ellos varias especies de peces, anfibios y de aves acuáticas, tales como ranas, ajolotes, insectos y acociles, además de la recolección de quelites y hierbas verdes.

Alrededor del año 1325, los mexicas fundaron su ciudad en una isla baja e inundable, Tenochtitlán, que en un siglo se convirtió en la capital del poderoso imperio azteca que ya dominaba toda la cuenca. Se puede argumentar que para la civilización lacustre de la cuenca, los asentamientos en tierras más altas no representaban ventaja, porque éstas no eran cultivables con el sistema de chinampas.

Entre los años 1200 y 1400 d.n.e., antes, durante y después de la llegada de los mexicas, una impresionante sucesión de cambios culturales y tecnológicos tuvo lugar en la cuenca. Se estima que hacia finales del siglo XV la población de la cuenca alcanzó más de un millón habitantes, distribuidos en más de 50 poblados que fungían como cabecera de muchas otras comunidades menores que pagaban tributo (Gibson 1967). En ese tiempo la cuenca de México fue seguramente el área urbana más grande y más densamente poblada de todo el planeta; incluso, hay un estudio en donde se afirma que la población de Mesoamérica a la llegada de los españoles era de 25 millones de habitantes, misma que luego de la conquista y el reparto de tierras y gente entre los encomenderos se redujo, debido a los maltratos y las enfermedades, a un millón (Stein y Stein 1971).

Tlatelolco, otro islote originalmente separado de Tenochtitlán, para 1473 ya formaba parte del imperio mexica. La característica de la ciudad eran los espacios verdes y amplios; las residencias combinaban el espacio habitable con el agrícola; éstas se encontraban al lado de su chinampa, en la que se mezclaban

plantas comestibles, medicinales y de ornato. La mitad de cada calle era de tierra dura y la otra estaba ocupada por un canal.

Para controlar las inundaciones, un largo albarradón —la presa de Nezahualcóyotl— había sido construido en el margen oriente de la ciudad en 1450; posteriormente se construyó un segundo albarradón —conocido hoy como San Lázaro—. Estos dos diques provocaron la separación de las aguas dulces de Tenochtitlán de las del gran cuerpo de agua salada que formaba en esa época el lago de Texcoco. Estas obras alteraron la dinámica hídrica del lago y seguramente impactaron en la flora y fauna de los ecosistemas, al hacer una zona del lago más salada que la otra (Legorreta 2008).

Conquista de Tenochtitlán e impactos ambientales en la cuenca

De acuerdo con los escritos de De las Casas (Gibson 1967), cuando los españoles llegaron en 1519, la cuenca se encontraba ocupada por una civilización bien desarrollada, con más de un millón de habitantes cuya economía giraba fundamentalmente alrededor del cultivo en chinampas y de los tributos que llegaban de todos los pueblos bajo el dominio mexica. La magnificencia de sus áreas verdes impresionó tanto a Hernán Cortés que incluyó largas descripciones de los jardines de Tenochtitlán en las Cartas de relación (Cortés 1526), pero esta admiración fue efímera. Después de un sitio de 90 días, los soldados de Cortés, apoyados por un ejército de aliados tlaxcaltecas y otros pueblos oprimidos, tomaron Tenochtitlán; destruyeron su centro ceremonial y con el paso del tiempo cambiaron los canales por caminos de terracería para caballos y carrozas.

Con el trabajo que proveía la población conquistada, los encomenderos españoles rediseñaron la ciudad, construyendo en los primeros momentos nuevas plazas con grandes iglesias, catedrales y edificios de gobierno, primero en Coyoacán y San Ángel, y un poco más tarde en el centro de lo que sería la capital de La Nueva España. La consecuencia no se vio sólo en el cambio del paisaje urbano, sino en el paisaje natural y la alteración de la biodiversidad, debido a la introducción de nuevas especies animales y de plantas. La evidencia documental de este proceso lo constituye el mapa de Uppsala,[5] también conocido como mapa de Tenuxtitlan o mapa de Tenochtitlán (figura 1).

En ese mapa se pueden observar caballos, vacas, cerdos, ovejas, cabras y gallinas, animales que fueron introducidos a la cuenca de México como paquete tecnológico de Occidente, y que junto con los cambios en la técnica radical de la agricultura y el transporte, alteraron la biodiversidad de la región y del país entero.

Los antiguos canales y el lago que se pueden observar en el mapa fueron rellenados para construir calles adecuadas a los carros tirados por caballos. Las chinampas fueron desplazadas del centro de la ciudad hacia el oeste de la cuenca, uniendo la isla de Tenochtitlán con el continente. Se observa una porción del antiguo lago de Texcoco separado por el albarradón de Nezahualcóyotl (construido *ca.* 1450), que a su vez forma un gran canal (después Canal Nacional), al extenderse en paralelo con el albarradón de Ahuizótl o San Lázaro (construido *ca.* 1499) (Guevara 2010) y las calzadas Guadalupe, al norte, e Iztapalapa (hoy calzada de Tlalpan), al sur, así como un nuevo acueducto desde Chapultepec hasta el centro de la ciudad (Templo de la Purísima Concepción, Salto del Agua) y norponiente de la ciudad colonial.

[5] Anónimo, hecho en pergamino, tiene un tamaño de 75 cm de alto y 114 cm de ancho, ca. 1550. Atribuido inicialmente a Alonso de Santa Cruz, quien realizó una réplica sin los detalles del original, ca. 1554. Mapa de Tenochtitlán del islario general de islas de todo el mundo, Biblioteca Nacional, Madrid, España, manuscrito coloreado a tinta y acuarela. En 1986, Miguel León-Portilla y Carmen Aguilera lo llaman mapa de México-Tenochtitlán y sus contornos hacia 1550, publicado por Celanese México S.A. Otros dos estudios importantes sobre este mapa son los de Linné (1948 y 1988), El valle y la ciudad de México 1550, y Toussaint, Gómez y Fernández (1938 y 1990), Plano de la ciudad de México: siglos XVI y XVII, UNAM. También se puede consultar de manera asombrosa el facsímil digital del original en *http://sysrep.aalto.fi/mexico* . La fotografía que se puede apreciar en la página inicial de este capítulo es una réplica artesanal de este mapa que se encuentra en los archivos del Museo de la Ciudad de México.

Figura 1. Reproducción del mapa de Uppsala o mapa de Tenochtitlán, 1550. El original se encuentra en la biblioteca Carolina Rediviva, Universidad de Uppsala, Suecia. Foto: Sergio Méndez.

La introducción de especies y tecnologías modificó los hábitos alimenticios y principalmente el cambio en el uso del suelo de bosque a pastizal; el uso del maíz, reservado exclusivamente para el consumo humano, era usado también como forraje para alimentar al ganado.[6]

Fue así como la fisonomía de la cuenca comenzó a cambiar profunda y rápidamente: los densos bosques que rodeaban al lago comenzaron a ser talados para proveer de madera a la ciudad colonial y abrir campos de pastoreo para el ganado doméstico.[7] La llegada de los españoles también trajo una gran disminución en el tamaño de la población, en parte por las matanzas asociadas a la conquista, por emigración de indígenas, pero sobre todo por las nuevas enfermedades infecciosas que trajeron los españoles. Un siglo después de la conquista, su población había disminuido 80% (Gibson 1967).

Los cambios del paisaje lacustre durante la Colonia

Con el tiempo, la colonización española se fortaleció, y las plazas, los mercados y el zócalo de la ciudad se convirtieron en los ejes de la vida colonial, donde los elementos culturales aztecas y españoles respecto al manejo del territorio se imbricaron lentamente, provocando un cambio en el paisaje de aquel sistema lacustre.

Desde el principio fue claro que la nueva traza de la ciudad era incompatible con la naturaleza lacustre de la cuenca. El relleno de los canales (como se puede observar en el mapa de México-Tenochtitlán hacia 1550, figura 1), para construir calzadas elevadas (líneas más oscuras y en color café en el mapa), empezó a obstruir el drenaje superficial de la cuenca y empezaron a formarse grandes superficies de agua estancada, mientras que el pastoreo y la tala de las laderas boscosas, aumentó los escurrimientos superficiales durante las lluvias, propiciando inundaciones constantes, en tanto que, durante las temporadas de secas, los lagos se desecaban más intensamente. Situación que ya ocurría desde antes de la llegada de los españoles, tal y como fue la inundación que provocaron las obras del río ahora nombrado Magdalena, y que en su momento le costó la vida al tlatoani de Coyoacán.

La poca altura de las montañas al norte de la cuenca llevó al gobierno colonial a planear el drenaje de la cuenca hacia ese sitio, desde los alrededores del lago de Zumpango hacia el área de Huehuetoca. El primer canal de drenaje tuvo 15 km de longitud, y en el año de 1608 ese canal abrió por primera vez la cuenca de México hacia el golfo de México a través de la cuenca del río Tula (Legorreta 2008). El continuo azolvamiento de la galería obligó al virreinato a construir, dos siglos más tarde, el "tajo de Nochistongo", un canal a cielo abierto.

Las obras del drenaje de Huehuetoca continuaron hasta principios del siglo XX. Inicialmente el canal funcionaba sólo como un vertedero del exceso de agua en la cuenca, pero con la construcción del canal de Guadalupe en 1796, el sistema de eliminación de aguas hacia el Tula se conectó con el Lago de Texcoco y las áreas lacustres de la cuenca comenzaron a achicarse rápidamente. En 1769, se dio por primera vez una discusión en el seno del gobierno colonial sobre la conveniencia de secar totalmente los lagos,[8] algo que parecía técnicamente imposible para aquella época, pero que dadas las intensas migraciones de las entidades de Puebla y Oaxaca fue factible a partir de mediados del siglo XX, cuando se inició el proceso de urbanización irregular de "Ciudad Neza", en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.

[6] *Cfr.* mapa Uppsala en: *http://systems-of-representation.uiah.fi/map_of_mexico/mapview/mom2*.

[7] Gibson aporta una descripción de las condiciones naturales de la cuenca de México antes de la llegada de los españoles (Gibson 1967).

[8] Hugo Rodríguez Uribe (2005) afirma que "El periodo colonial inaugura, en cambio, un sistema de ideas que, en lo general, se ofrece a contra natura. Ese sistema ideológico se radicaliza a lo largo del siglo XX; es lo que entendemos como racionalidad económica".

Desamortización de bienes eclesiásticos y urbanización

Una vez consumada la Independencia de México en 1821, los cambios territoriales importantes para la cuenca se fueron dando sobre todo con la aplicación de las Leyes de Reforma (1856-1859), pues éstas impusieron severas restricciones al poder de la iglesia. El efecto más importante fue hacer efectiva la Ley de Desamortización de 1856, que establecía que todas las fincas rústicas y urbanas de las corporaciones religiosas y civiles se adjudicarían en propiedad a sus arrendatarios por un valor mínimo. Ello abrió el camino a la ruptura de la traza colonial y facilitó la expansión urbana sobre terrenos que habían sido de la iglesia, del ayuntamiento y de las parcialidades indígenas (Rosique 1984).

El impacto de aquella ley liberal fue más notable tres décadas después, cuando la clase dominante porfiriana comenzó a edificar un nuevo modelo de ciudad durante el auge de la industrialización y la introducción del ferrocarril como medio de transporte masivo entre el sistema de ciudades y pueblos cercanos a la ciudad capital.

Durante el siglo XIX, se hicieron mejoras a los espacios verdes urbanos, particularmente durante el gobierno del emperador Maximiliano, que reforestó muchas plazas de la ciudad. El Paseo de la Reforma, también iniciado por él en 1865, fue finalizado la siguiente década por Sebastián Lerdo de Tejada, y las familias más ricas de la época comenzaron a edificar grandes casonas sobre esa avenida, iniciando así un movimiento de las colonias burguesas hacia el oeste de la ciudad que culminó a mediados del siglo XX, con la creación de las colonias Polanco y Lomas de Chapultepec. Claro está que aquella expansión urbana fue impactando ambientalmente los ya de por sí frágiles ecosistemas de la cuenca.

Por la misma razón, las obras de drenaje del canal de Huehuetoca se ampliaron durante el siglo XIX y, por primera vez, muchos citadinos comunes comenzaron a preocuparse por las consecuencias de secar los lagos. Una de éstas empezó a hacerse evidente en la presencia de una costra de sales, conocida como "salitre", que se formó en la superficie del suelo durante el tiempo de secas.

A pesar de las obras de drenaje, la navegación por canales fue un medio de transporte utilizado hasta finales del siglo XIX: desde un muelle cercano al antiguo mercado de la Merced, al este del Zócalo capitalino, salían barcos de vapor hacia Xochimilco y Chalco, utilizando el Canal Nacional, que empezó su formación desde el albarradón de Nezahualcóyotl (*ca.* 1450). El canal de La Viga, entre otros, permaneció activo y todavía era una importante vía de transporte de productos agrícolas entre las chinampas de Xochimilco y el centro de la ciudad.

Durante el porfiriato, la industrialización se instaló particularmente en los alrededores de la ciudad. Se construyeron cerca de 5 mil fábricas y 19 mil km de ferrocarriles por todo el país (González 2000); de esa manera la ciudad, siendo la capital nacional, se modernizó y urbanizó con trenes eléctricos. Por primera vez, la cuenca de México empezó a ser considerada como una sola unidad vinculada por un gobierno central y una industria de importancia creciente.

Por su parte, los ferrocarriles comenzaron a traer campesinos a la cuenca en busca de empleo en las nuevas fábricas y varios pueblos cercanos de Tacuba, Tacubaya y Azcapotzalco, que al paso del tiempo fueron incorporados funcional y políticamente como parte de la capital. Se puede intuir que la eliminación de canales y desecación de los lagos, la apertura de nuevas tierras a la agricultura y la ganadería y el crecimiento paulatino de los pueblos aledaños a la capital, más la movilidad y densidad poblacional de los entornos, tuvo una repercusión fatal para la vida silvestre de plantas y animales.

Particularmente, la ley municipal de 1903 estatizó por primera vez el sistema municipal de la actual Ciudad de México; conservó el régimen político-administrativo de los ayuntamientos,

pero se perdieron todas las funciones de gobierno al convertirse en consejos consultivos del gobierno federal, dejando así de cobrar impuestos y de ejercer directamente el presupuesto local. Como consecuencia de esos cambios en la forma de gobierno, se creó el Consejo Superior de Gobierno del Distrito Federal (hoy Ciudad de México), integrado por el gobernador, el director de Obras Públicas y el presidente del Consejo Superior de Salubridad (Rodríguez 2005). En 1907, éstos autorizaron obras hidráulicas para que el agua del lago de Xochimilco diera soporte a las necesidades de la creciente ciudad, que tenía ya una población de 720 753 habitantes en 1910 (Secretaría de Economía 1956) .

Como el crecimiento de la ciudad no se pudo detener, en 1952 el presidente Miguel Alemán autorizó otra obra hidráulica con la que el lago se redujo y sus canales empezaron a ser rellenados con aguas provenientes de los drenajes de la ciudad. Hoy es un hecho que cerca de 70% del agua de Xochimilco proviene de la planta de tratamiento ubicada en la cima del cerro de la Estrella, en Iztapalapa.

La biodiversidad amenazada después de la Revolución mexicana

La ciudad sufrió pocos daños durante el conflicto de 1910-1917, pues se trató de batallas que en su mayoría se libraron en ciudades de provincia y en el medio rural. Con el paso de los años, los nuevos gobiernos se fueron institucionalizando, sobre todo durante los gobiernos sonorenses de Obregón y el Maximato de Calles (1920-1934).[9] Con su proyecto modernizador, la industria se recuperó en la ciudad, trayendo mejoría para el transporte público. Ello permitió la expansión del área urbana sobre la cuenca, alcanzando en 1930 una población de 1 229 576 habitantes (INEGI 1999).

Con la llegada de Lázaro Cárdenas en 1934, la reforma agraria se intensificó en todo el país, por lo que la demanda de tierra fue ampliamente satisfecha. También se crearon parques nacionales en las montañas que rodeaban la cuenca y se ordenó la creación de áreas verdes dentro de la ciudad. Durante ese mandato fueron decretados los parques nacionales del Desierto de los Leones y las Cumbres del Ajusco, al poniente y sur de la ciudad.

Hacia 1950, la población de la ciudad alcanzó 3 050 442 habitantes (INEGI 1999). El llamado "milagro" mexicano (1940-1970) hizo realidad la conversión del México rural al urbano, que incluía, entre otras cosas, una poderosa política de industrialización (Hansen 1971). Esos hechos propiciaron que, durante el gobierno de Miguel Alemán, una parte importante del Parque Nacional de las Cumbres del Ajusco fuera cedido a la industria papelera Loreto y Peña Pobre, que pronto inició su programa de tala forestal. La reducción de ese parque abrió el camino para la expansión de la traza urbana sobre importantes tierras forestales.

La expansión metropolitana sobre la cuenca de México

Después de la Segunda Guerra Mundial, el crecimiento industrial se intensificó con la política de sustitución de importaciones. La Ciudad de México, además de su carácter de capital nacional y principal centro cultural y religioso, rápidamente se transformó en una metrópolis policéntrica[10] con énfasis industrial, financiera y de servicios, hecho que intensificó el proceso de inmigración masiva campo-ciudad iniciado en los años treinta.

[9] Cuatro fueron lo elementos que le dieron cauce al modelo de desarrollo posrevolucionario que modificaron la estructura urbana decimonónica de la ciudad: la concentración de la industria, la revaloración de la figura presidencial, la forma de gobierno centralizada para la capital y el centralismo político-administrativo que dio prioridad al desarrollo nacional en la Ciudad de México. (Rosique 2006).

[10] Daniel Hiernaux-Nicolas (2005) destaca la integración de nuevas funciones de centralidad o nuevas formas de ejercer estas funciones en espacios no tradicionales, como por ejemplo, los centros comerciales vueltos espacios de ocio más que de venta. Se trata de espacios inducidos por una fuerte inversión económica y simbólica sobre espacios predeterminados, como Santa Fe, Perisur, el centro histórico de Coyoacán, pero igualmente de los nodos de desarrollo metropolitano como Coapa, Polanco, Zona Rosa, Tacuba, etc., puntos hacia donde paulatinamente se relocalizan funciones tradicionales de abasto y comercio, que por varios siglos se llevaron a cabo en el centro histórico de la ciudad.

En setenta años, la población de la ciudad pasó de 1 767 530 en 1940, a cerca de 21 millones en 2010 (INEGI 2010), de los cuales 8 851 080 corresponden a la Ciudad de México y el resto a los 59 municipios conurbados la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), ampliando su mancha urbana de 500 a más de 3 000 km^2.[11]

Poblaciones vecinas como Tláhuac y Xochimilco, antes consideradas la zona rural, hoy están incorporadas a la megalópolis en la que se convirtió la ciudad. A su vez, Tlalpan, Milpa Alta y Cuajimalpa están en proceso de hacerlo, catalizadas por la construcción de la carretera Xochimilco-Oaxtepec en los ochenta y actualmente por la línea 12 del Metro y la vía Poniente, inauguradas en 2012, que unen la zona de Perisur con el Corporativo de Santa Fe, pese a los reclamos de grupos de ambientalistas y la oposición de vecinos en sendos rumbos de la ciudad.

Durante la década de los sesenta, también se construyó un sistema de "drenaje profundo" de 135 km de túneles subterráneos de 4.5 m de diámetro. Este sistema atraviesa el subsuelo de la ciudad y conduce el agua a un túnel denominado "Emisor Central", de 6.5 m de diámetro, construido a 240 m de profundidad. Este drenaje sirve para eliminar los escurrimientos torrenciales que generan los miles de kilómetros cuadrados de avenidas de asfalto y concreto; con ese sistema se secaron casi por completo los antiguos lechos del enorme sistema de lagos de 1 000 km^2 que hubo hace medio milenio en la superficie de la cuenca (Legorreta 2008).

Durante el gobierno del presidente Luis Echeverría, la construcción de la carretera panorámica Ajusco-Picacho tuvo como repercusión la expansión de la mancha urbana de manera desordenada e ilimitada, al grado de que hoy la zona del Ajusco es un territorio de especulación de suelo de conservación y de invasiones que no se detienen, incluso mucho más allá de los límites establecidos en el Ordenamiento Ambiental y Área Natural Protegida responsabilidad de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA).

Esa carretera, tuvo que ser ampliada a tres carriles hasta los límites de la colonia Héroes de Padierna en 2006, para agilizar la movilidad a los cientos de miles de habitantes que se siguen asentando mucho más arriba, en los suelos de conservación que fueran parte del parque nacional decretado por el presidente Lázaro Cárdenas 70 años atrás. De hecho hoy, casas y negocios llegan hasta las mismas faldas del cerro Pico del Águila en el Ajusco, en donde operan irregularmente restaurantes y servicios recreativos que depredan el ambiente e invaden el hábitat natural de especies animales y vegetales en peligro de extinción. Decenas de miles de capitalinos visitan cada fin de semana este bello paisaje rural, para llevar a la familia a pasar días de campo o pasear en ruidosas motocicletas por las veredas que usan los ejidatarios para realizar sus trabajos forestales.

Por otra parte, la disminución del agua del subsuelo en el fondo de la cuenca, producida por la extracción de agua, contrajo los sedimentos arcillosos que antes formaban el lecho del lago, propiciando el hundimiento gradual de algunas partes de la ciudad hasta 9 m en los últimos 100 años (FUNDLOCAL 2007).

Las velocidades del viento, extremadamente bajas en la altiplanicie de la cuenca, junto con la intensa actividad industrial y las emisiones de más de 4 millones de vehículos,[12] han degradado la calidad de la atmósfera a niveles riesgosos para la salud humana, pero también en detrimento de las especies de plantas y animales que temporal o permanentemente habitan en la parte urbana de la ciudad.

No obstante el gran desarrollo urbano que se ha dado sobre el territorio de la Ciudad de México, la conurbación con los municipios aledaños del Estado de México y el proceso de metropolización que acerca física y funcionalmente a la ciudad con las cinco ciudades capitales de las entidades contiguas, da lugar a la formación de

[11] La ZMVM es un área oficialmente reconocida por el INEGI, formada por las 16 delegaciones de la ciudad, 59 municipios conurbados del Estado de México y uno del estado de Hidalgo.

[12] De acuerdo con las tendencias de crecimiento vehicular en 2005, circulaban en la ciudad 3 millones de automóviles, pero cada año se incorporaron 200 mil vehículos más, mismos que son responsables de 70 % de la contaminación atmosférica de la ciudad, considerada por la ONU la más contaminada del planeta en 1992 (FUNDLOCAL 2007).

lo que se denomina la corona regional megalopolitana del centro del país (Rosique 2006). La cuenca de México y sus suelos de conservación siguen siendo altamente eficientes desde el punto de vista ambiental, pues aportan 70% del agua que se consume en la ZMVM. Adicionalmente, esta cuenca genera servicios ambientales invaluables para el bienestar de la población humana, la biodiversidad de la región (cuadro 1) y el desarrollo económico, pues sólo en la ciudad sus 381 mil empresas generan 23% del producto interno bruto del país (FUNDLOCAL 2007).

Conclusiones

La cuenca de México ha pasado ya por dos ciclos de expansión poblacional y colapso posterior. ¿Qué sucederá con la cuenca de México y toda su biodiversidad en este nuevo ciclo de explosión demográfica bajo el régimen de desarrollo metropolitano? ¿Es posible discutir ordenada y metódicamente la dirección, la magnitud y el significado ambiental de estas inmensas transformaciones para evitar el avance de su deterioro?

La cuenca fue el sitio en el que se asentaron grupos hace más de 7 mil años por contener los recursos biológicos para su subsistencia, llegando a ser en su mayor auge el centro de una de las mayores civilizaciones del planeta, "la gran Tenochtitlán", que se estableció sobre el lecho de su sistema de lagos.

Sin duda alguna el éxito de este sistema se basó en la adaptación a las condiciones ambientales del sitio, pero en más de cinco siglos, los cambios para el desarrollo industrial y crecimiento urbano han modificado de forma permanente este ecosistema.

Esta megalópolis hoy se encuentra en el umbral de una transición postmetropolitana, que obedece a la lógica de un desarrollo planetario, que se decide oligárquicamente en unos cuantos nodos de gestión mundial. El que sea la racionalidad económica y no la ambiental la que domina las formas del desarrollo hace que el destino de los habitantes y de su hábitat esté en un gran predicamento, por lo que se debe considerar la integración de variables ecosistémicas en la generación y aplicación de políticas públicas. Lo anterior es sin duda un reto inmediato para los gobiernos de las grandes ciudades. Enfrentar los retos de sustentabilidad que implica el desarrollo de la ciudad, al tiempo que las acciones públicas y privadas en favor del conservacionismo se ven disminuidas, pone en riesgo la pérdida del capital biótico y abiótico que le da sustento.

La ciudad ocupa hoy un poco más de la mitad del territorio de la Ciudad de México más las áreas de las cuencas en las entidades vecinas. Tiene una población de 21 millones de habitantes que día a día ocupan, transforman y explotan irracionalmente los suelos de conservación. Éste constituye el principal reto para el

Cuadro 1. Servicios ambientales que proporciona el suelo de conservación.

Servicios ecosistémicos			
Provisión	**Regulación**	**Culturales**	**Soporte**
Alimentos	Recarga de acuíferos	Actividades culturales y recreativas	Oxígeno para la atmósfera
Materias primas	Retención de sedimentos	Paisaje, ecoturismo,	Equilibrio de los procesos climáticos
Disponibilidad de agua	Regulación de gases	Educación e investigación	Mantenimiento de la Biodiversidad
Cobertura vegetal	Regulación del clima		Refugio de especies
Productos agrícolas	Contención de partículas suspendidas		Reciclaje de nutrientes
Plantas medicinales	Control Biológico		Polinización
	Prevención de desastres		
	Barrera boscosa contra los vientos		
	Protección contra tormentas e inundaciones		

Fuente: elaboración propia basada en FUNDLOCAL (2007) y con arreglo basado en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Hassan 2005).

impulso de un proyecto de desarrollo sostenible integral, en el que agua, aire y suelo sean los principales elementos de un hábitat saludable, que permita su rica biodiversidad y un futuro promisorio.

Referencias

Cortés, Hernán. 1526. *Cartas de relación*. Porrúa. México.

Ezcurra, E. 1996. *De las chinampas a la megalópolis: el medio ambiente en la cuenca de México*. Fondo de Cultura Económica. Serie: La Ciencia para todos, núm. 91, México.

Florescano, E. y F. Eissa. 2008. *Atlas histórico de México*. México, Aguilar.

FUNDLOCAL. Fundación para el Fortalecimiento de los Gobiernos Locales. 2007. *Ciudad de Ciudades*. FUNDLOCAL, México.

Gibson, C. 1967. *Los aztecas bajo el dominio español 1519-1810*. México, Editorial Siglo XXI.

González, L. 2000. El liberalismo triunfante. Pp. 633-705. En: *Historia general de México*. D. Cosío-Villegas (eds.). El Colegio de México (COLMEX), México.

Guevara, T.M. 2010. Programa de sustentabilidad hídrica de la cuenca del Valle de México, SEMARNAT-CONAGUA. En: *Diplomado Política y Gestión del Agua en la Ciudad De México: Un Desafío Multidimensional*. México, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad (PUEC)/UNAM 2010-2011.

Hansen, R.D. 1971. *La política del desarrollo mexicano*. Editorial Siglo XXI, México.

Hassan R., R. Scholes y N. Ash (eds.). 2005. *Ecosystems and human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1. Island – Press., Pp. 26-36. En: <*http://www.maweb.org/documents/document.765.aspx.pdf*>, última consulta, 12 de noviembre del 2012.

Hiernaux, D. 2005. La inserción urbana de la población indígena en la Ciudad de México. Pp. 253-272. En: *Vivir en la ciudad. Lo cotidiano de la inserción urbana en México, América Central y El Caribe*. P. Bodson, A. Cordero, P. Carrasco y J. Goulet (eds.). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)/ FLACSO GIM, México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1999. V Censo de Población. Estadísticas Históricas de México. Tomo I. México.

——. 2010. Censo de población y vivienda. En: <http://www.censo2010.org.mx/>, última consulta: 14 de noviembre del 2012.

Legorreta, J. 2008. Transformación y restauración lacustre de la ciudad de México. Pp. 207-223. En: *La ciudad de México a debate*. J. Legorreta (coord.). Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco (UAM-A), México.

McClung de Tapia E. y J. Zurita-Noguera. 2000. Las primeras sociedades sedentarias. Pp. 255-295. En: *Historia Antigua de México* Vol. I: El México antiguo, sus áreas culturales, los orígenes y el horizonte Preclásico. Manzanilla, L. y L. López (eds.). Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH)/ UNAM, México.

Niederberger, Ch. 2001. Las sociedades mesoamericanas: las civilizaciones antiguas y su nacimiento. Pp. 117-150. En: *Las sociedades originarias*.T. Rojas-Rabiela y J.V. Murra (eds.), UNESCO/Trotta.

Pérez-Campa, M.A. 2007. Preclásico tardío (400 A.C.-200 D.C.). Pp. 40-43. En: *Las primeras ciudades en la cuenca de México*. Arqueología Mexicana. 86 julio-agosto.

Rodríguez, H. 2005. *Ideología y política ambiental en el siglo xx*. La racionalidad como mecanismo compulsivo. Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), México.

Rosique C., J.A. 1984. Tierra y movimientos sociales en la historia de México. UAM - Xochimilco, Cuadernos de investigación, 16.

——. 2006. *Ciudad de México: La megalópolis ingobernable*, UNAM/UAM - Xochimilco/Épica.

Secretaría de Economía. 1956. Estadísticas Sociales del Porfiriato 1877-1910. Dirección General de Estadística. México.

Stein, S. J. y B.H. Stein. 1971. *La herencia colonial de América Latina*. Siglo XXI Editores México, Madrid, Buenos Aires.

Valadez A.R. y R.R. Arrellín. 2000. La domesticación de animales. Pp. 297-334. En: *Historia Antigua de México* Vol I: El México antiguo, sus áreas culturales, los orígenes y el horizonte Preclásico. L. Manzanilla y L. López-Lujan (eds.). INAH/UNAM, México.

Estudio de caso

Dinámica poblacional: un análisis por contornos y regiones

José Agustín Porras Macías
Sergio Alejandro Méndez Cárdenas

La relación entre la dinámica demográfica y la biodiversidad es muy compleja, por lo que constituye una tarea multidisciplinaria; en este apartado se presenta un análisis de esa relación con base en la zonificación definida para la Ciudad de México por el equipo académico reunido por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

De acuerdo con el artículo 122 de la Constitución Mexicana, la Ciudad de México está dividido en 16 delegaciones territoriales; no obstante, su dinámica poblacional rebasó desde hace varias décadas sus límites geográficos, expandiéndose en la actualidad sobre 59 municipios del Estado de México y uno del estado de Hidalgo, todo ello con consecuencias sobre la biodiversidad de la cuenca de México.

La dinámica demográfica de la ciudad experimentó periodos de alto crecimiento (1960-1980); luego, en los últimos decenios, de muy débil crecimiento (1990-2010), por dos razones fundamentales que se exponen a continuación.

La primera es que la Ciudad de México pasó de ser un centro urbano de alta atracción migratoria a tener una elevada expulsión de población debido varios factores, como el encarecimiento del suelo en la ciudad central y su primer contorno; la debilidad de la política habitacional para los sectores populares crecientes, por las políticas restrictivas para autorizar nuevas urbanizaciones en el sur de la ciudad durante las décadas de los cincuenta y sesenta; por el efecto psicológico de temor que perduró durante varios años posteriores a los temblores de septiembre de 1985, y por la reducción de los espacios urbanizables en las delegaciones centrales y del primer contorno.

Tomemos en cuenta que la urbanización irregular espontánea a partir de los setenta tomó como sus principales sitios de asentamiento las laderas de los cerros y montañas que forman la cuenca, a tal grado que a principios del siglo XXI no es fácil encontrar espacios libres para nuevos desarrollos. Todo ello convirtió a los municipios aledaños del Estado de México en el receptáculo de la población que migró hacia el centro del país desde finales de los cincuenta del siglo pasado hasta la fecha.

La segunda razón que ha influido en esta dinámica demográfica es el crecimiento natural (número de nacimientos menos número de defunciones) que fue elevado en el pasado (1790-1970), el cual ha experimentado disminuciones importantes en los decenios recientes debido a la reducción en la mortalidad y en la natalidad, de tal manera que en la actualidad la tasa de crecimiento natural es muy reducida en la Ciudad de México comparada a nivel nacional.

En la figura 1 se muestra el crecimiento de la población desde 1790 hasta el 2010. En los primeros 100 años de este análisis (1790-1880), la población se incrementó sólo en 145 240 habitantes, es decir 239% más, mientras que en los siguientes 50 años (1880-1930), creció a 979 576

Porras-Macías, J.A. y S.A. Méndez C. 2016. Dinámica poblacional: un análisis por contornos y regiones. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 190-199.

habitantes, es decir 492%. Es interesante mencionar que la población de 1930 seguía siendo menor de la que habitaba en la cuenca en 1519, durante el imperio mexica.

En los siguientes 50 años, de 1930 a 1980, fue cuando se registró un mayor crecimiento, pasando de 1 229 576 habitantes, a más de 8 millones, es decir, hubo un aumento de 718%. Como se puede observar en la figura 2, la curva es exponencial a partir de los años treinta, gracias al proceso de desarrollo industrial y la incorporación de nuevas tecnologías que atrajo a la población de la provincia a la Ciudad de México.

En 1970, la población tenía 6 874 165 habitantes; para 1990, alcanzó los 8 351 045, con una tasa de crecimiento medio anual aritmética de 0.96% en el periodo 1970-1990. Como puede advertirse, desde 1970 la tasa de crecimiento total era menor de 1% anual, pero de una población millonaria, por lo que los crecimientos en términos absolutos se vuelven muy demandantes en materia de espacio suelo urbano, vivienda y servicios municipales.

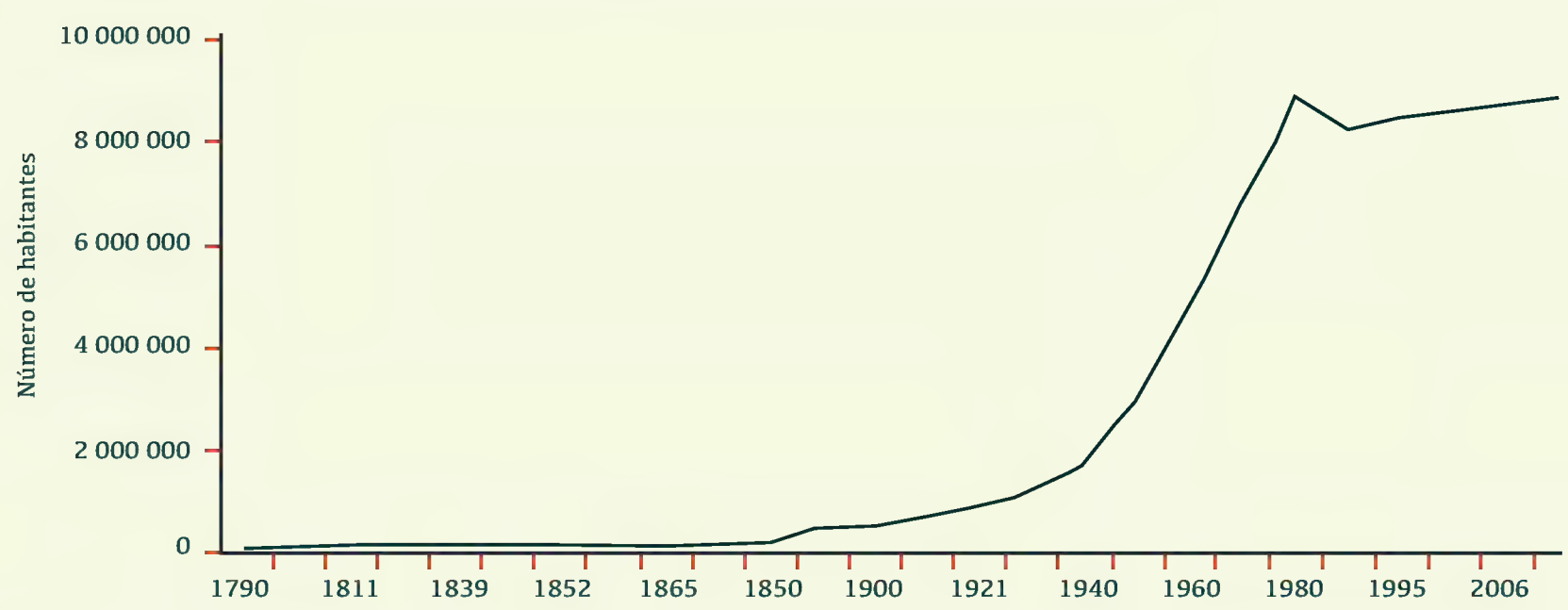


Figura 1. Crecimiento exponencial de la población (1790-2010). Fuente: elaboración propia de acuerdo con INEGI 2000, p. 3. e INEGI 2010.

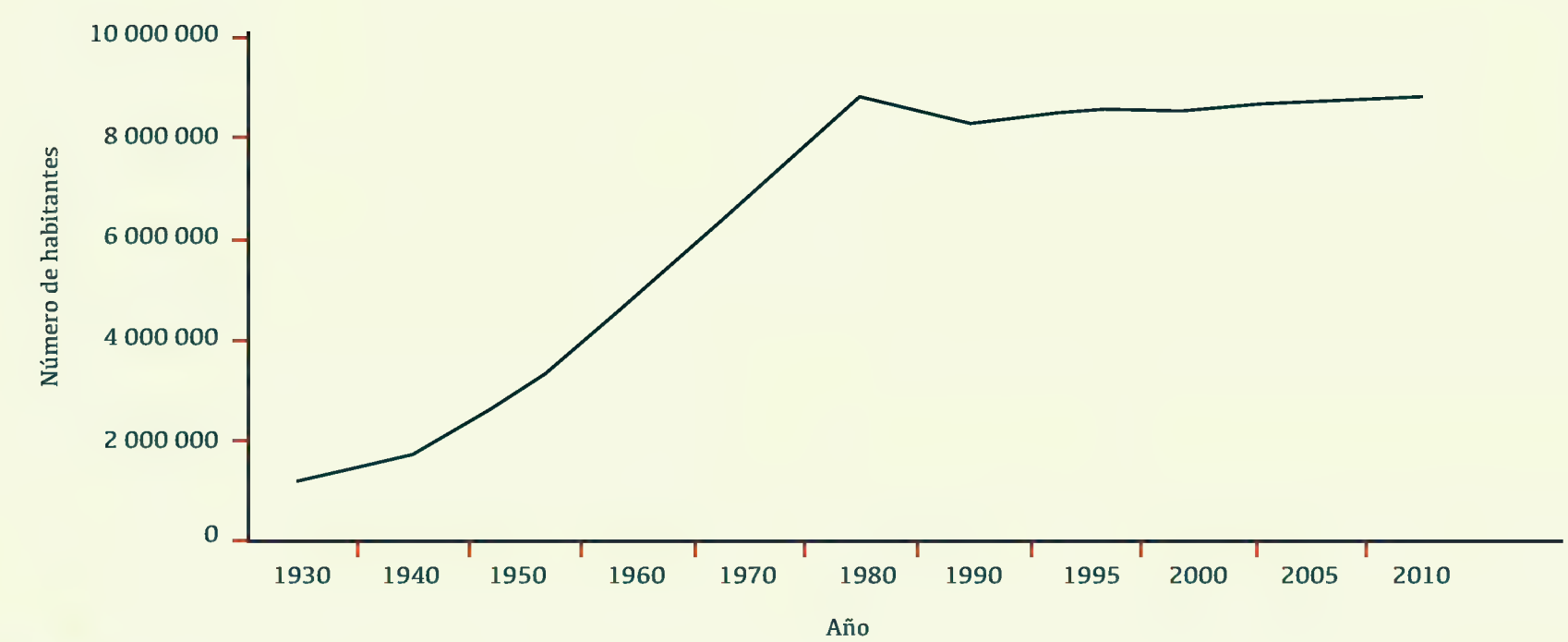


Figura 2. Crecimiento exponencial (1930-2010). Fuente: elaboración propia con base en INEGI 1995, 2000*a*, 2005, 2010.

Para la década 1990-2000, la tasa total de crecimiento siguió disminuyendo, alcanzando en ese periodo la cifra de 0.30% promedio anual; para la década 2000-2010, la tasa de crecimiento total anual promedio fue otra vez de 0.30%, siendo el tamaño de población alcanzado, en términos absolutos, en el año 2010, de 8 873 017 habitantes (INEGI 2010). Gran parte de la población se asentó en las delegaciones del sur y poniente de la ciudad, como Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan, Milpa Alta, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, en donde lo que se ha ocupado principalmente son los suelos clasificados para conservación.

En los periodos antes señalados, la tasa de crecimiento natural disminuyó de manera significativa; en 1980-1990, fue de 2.12% anual, mientras que para el periodo 2000-2010 ya había descendido a 1.12% promedio anual. En cambio, las tasas de saldo neto migratorio para el periodo 1980-1990 fue de –1.86% (tasa negativa) y para el periodo 2010 fue de –0.82%. Es importante señalar que en la década 2000-2010 ha disminuido la expulsión de población debido a diversos factores, entre ellos: los procesos de urbanización de los espacios rurales y de suelo de conservación y los efectos de la política pública de renovación y regeneración urbana en el Centro Histórico, con cambios para el uso del suelo habitacional por comercio y servicios, que comprende a las delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza. Estos factores combinados disminuyen la migración hacia otras entidades, pero estimulan el traslado de la población central hacia las orillas de la ciudad y, en menor caso, a los municipios conurbados.

Por lo anterior, la dinámica de población en su conjunto registra patrones de comportamiento demográfico variado en las delegaciones que lo componen.

El proceso de urbanización y metropolización de la Ciudad de México inició en periodos de rápido crecimiento de la metrópoli. En su evolución inicial, también ganó importancia el primer contorno para continuar un rápido crecimiento en el segundo contorno que incluyó a las delegaciones de Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Álvaro Obregón, Coyoacán, Iztacalco, Iztapalapa y Cuajimalpa. De esa manera, la ciudad perdió población, mientras que el segundo y tercer contorno, que sólo está compuesto por Milpa Alta, tuvo un crecimiento acelerado. Ese proceso de urbanización ha promovido la unión gradual de la mancha urbana con los municipios más cercanos del Estado de México, incrementando la superficie urbana en suelo de conservación ecológica.

En el cuadro 1 se puede apreciar ese fenómeno, pues desde antes de la década 1970-1980, la ciudad central estaba ya perdiendo población; la expulsión se acentuó en este periodo con una tasa de crecimiento total negativa de -1.88%. En la década 1980-1990, la población disminuyó -2.01%, y para 1990-1995 se mantuvo en crecimiento negativo en -1.88%. La población comenzó a disminuir de forma significativa en el lustro 1995-2000, cuando la tasa negativa se desaceleró a -0.92%, mientras que para el periodo 2000-2010 la tasa de expulsión disminuyó a -0.90%, por lo que se logró un incremento de la población que no se tenía desde 1980, de 0.22%. En el periodo 1970-1980, la tasa de expulsión fue de -4%; es decir, los procesos de descensos son cíclicos y la población se ha desplazado a las regiones del segundo y tercer contorno y a la región periurbana; mientras tanto, los programas de regeneración urbana de la ciudad central han tenido un impacto importante para detener la expulsión de su población.

Análisis demográfico por contornos

En el primer contorno de la ciudad central, las delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza tuvieron una dinámica demográfica tal que eliminó casi completamente los espacios abiertos y

áreas verdes; no obstante, se ubica la región de Parques y Jardines Urbanos en la regionalización establecida para este diagnóstico. Los contornos segundo y tercero, todavía muy ricos en biodiversidad, son los que han tenido mayor impacto demográfico en los últimos 30 años (figura 3).

Recordemos que el segundo contorno contiene a las delegaciones de Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan, Magdalena Contreras. Desde la década 1980-1990, estas delegaciones alcanzaron tasas de crecimiento del orden de 2.51% promedio anual, siendo superadas por Milpa Alta en el tercer contorno, que creció en 4.03% durante 1990-1995. Para esos contornos el crecimiento elevado continuó en 1995-2000, con tasas de 2.05% y de 4.13% promedio anual, aunque hay que reconocer que para 2000-2010 la tasa de crecimiento ha comenzado a disminuir significativamente en el segundo contorno en el orden de 1.19% promedio anual, pero manteniéndose todavía elevada en el tercer contorno (Milpa Alta), con una tasa de 2.88% promedio anual.

En el cuadro 2, se integran a las regiones definidas para este estudio de biodiversidad los datos sobre las delegaciones y su crecimiento. En lo que corresponde a la región de Parques y Jardines Urbanos, que comprende básicamente la ciudad central y algunas delegaciones del primer contorno, la mayor parte de las regiones ha tenido tasas de crecimiento negativo. Pero eso no significa que el impacto sobre el ambiente en cuanto a Parques y Jardines Urbanos sea bajo, pues hay que señalar que las altas densidades poblacionales,

Cuadro 1. Proceso de metropolización y dinámica de crecimiento de 1990 a 2010.

Delegaciones y ciudad central	Población		Tasa crecimiento 1990-1995 anual (%)	Población 2000	Tasa crecimiento 1995-2000 anual (%)	Población 2010	Tasa crecimiento 2000-2010 anual (%)
	1990	1995					
B. Juárez	413 520	369 956	-1.97	360 478	-0.61	389 140	0.74
Cuauhtémoc	604 303	540 382	-1.98	516 255	-1.07	539 104	0.42
M. Hidalgo	412 564	364 398	-2.2	352 640	-0.77	372 050	0.52
V. Carranza	526 903	485 623	-1.45	462 806	-1.13	430 022	-0.71
Ciudad Central	1957 290	1 760 359	-1.88	1 692 179	-0.92	1 730 316	0.22
G. A. Madero	1 285 821	1 256 913	-0.4	1 235 542	-0.40	1 184 099	-0.41
Azcapotzalco	481 334	455 131	-0.99	441 008	-0.74	413 785	-0.62
A. Obregón	651 752	676 930	0.67	687 020	0.35	729 193	0.58
Coyoacán	649 027	653 489	0.12	640 423	-0.47	628 420	-0.18
Iztacalco	454 599	418 982	-1.45	411 321	-0.43	383 421	-0.68
Iztapalapa	1 511 366	1 696 609	2.05	1 773 343	1.04	1 815 596	0.23
Cuajimalpa	121 344	136 873	2.13	151 222	2.33	187 206	2.06
Primer Contorno	5 155 243	5 294 927	0.47	5 339 879	0.20	5 341 720	0.14
Tláhuac	209 594	255 891	3.53	302 790	3.93	361 014	1.70
Xochimilco	274 947	332 314	3.35	369 787	2.5	418 022	1.19
Tlalpan	491 654	552 516	2.07	581 781	1.21	651 839	1.10
La Magdalena Contreras	197 772	211 898	1.22	222 050	1.1	239 595	0.74
Segundo Contorno	1 173 967	1 352 619	2.51	1 476 408	2.05	1 670 470	1.18
Milpa Alta	64 545	81 102	4.03	96 773	4.13	130 511	2.88
Tercer Contorno	64 545	81 102	4.03	96 773	4.13	130 511	2.88
TOTAL	8 351 045	8 489 007	0.29	8 605 239	0.32	8 873 017	0.3

Fuente: INEGI 2000, 2010.

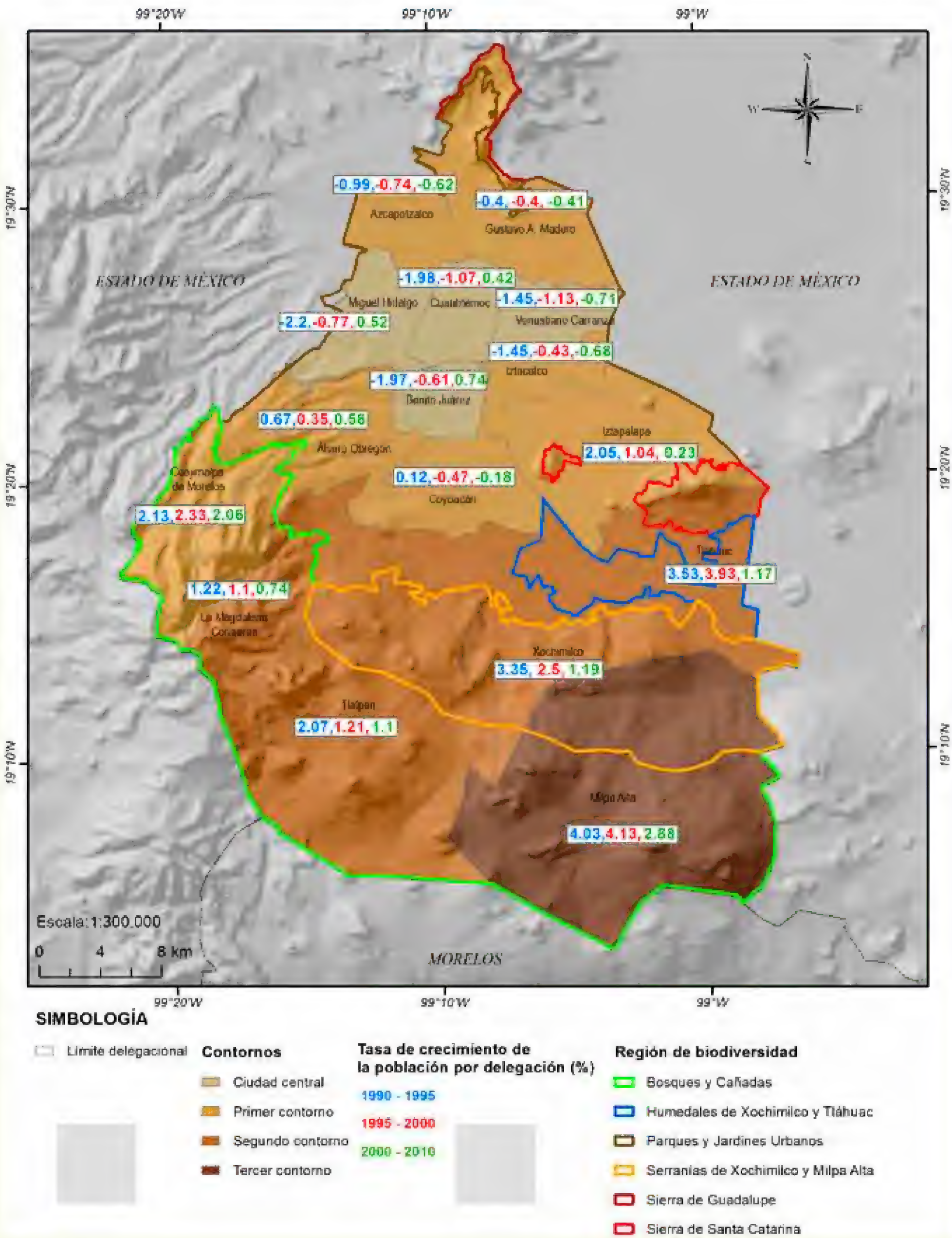


Figura 3. Mapa de dinámica poblacional de las delegaciones políticas. Fuente: elaboración de Diego Reygadas con información proporcionada por los autores, con base en INEGI 1995, 2000*a*, 2005, 2010.

sumadas a la población flotante de cerca de 3 millones que usa y visita diariamente la ciudad central durante el día, ejercen una presión significativa sobre los recursos.

En 1990, la población de las delegaciones del primer contorno alcanzó los 4 828 071 cuando el total de la Ciudad de México era 8 351 045, lo que representó una proporción de 57.8%. En el 2010, debido a la dinámica poblacional, la población de estas delegaciones se redujo a 4 340 041 de habitantes, frente a 8 873 017 habitantes de la ciudad en esta ocasión la proporción fue de 48.9%, es decir, hubo una disminución con respecto a 1990 de 488 030 habitantes menos.

Análisis demográfico por regionalización geoecológica

La región de Bosques y Cañadas comprende las delegaciones Álvaro Obregón y Cuajimalpa, del primer contorno; Magdalena Contreras, Tlalpan y Xochimilco, del segundo contorno, y Milpa Alta, del tercer contorno (figura 4). En la mayoría de estas delegaciones el crecimiento demográfico fue elevado en el periodo 1990-1995, tal como se señaló antes, con excepción de la delegación Álvaro Obregón, que tuvo tasas bajas de crecimiento, del orden de 0.67%, 0.35% y 0.58% en los últimos periodos ya señalados. Sin embargo, en las otras delegaciones las tasas fueron elevadas, del orden de 1.22%, 2.07%, 3.35% y 4.03% promedio anual; en el periodo 1990-1995 en el segundo y tercer contorno; pero disminuyeron significativamente en el último periodo, 2000-2010, a tasas iguales o menores de 2% promedio anual.

El tamaño de la población en esta región era de 1 802 014 habitantes en 1990 y representó una proporción de 21.57% con respecto a la población de la capital; en el año 2010 aumentó de manera importante el tamaño de la población a 2 356 366 habitantes y representó el 26.56%; el aumento en esta proporción refleja una mayor presión sobre los recursos y el medio ambiente, la cual ha ido aumentando significativamente en los últimos 20 años.

Cuadro 2. Dinámica de crecimiento 1990-2010.

Contornos	Población		Tasa crecimiento 1990-1995 anual (%)	Población 2000	Tasa crecimiento 1995-2000 anual (%)	Población 2010	Tasa crecimiento 2000-2010 anual (%)
	1990	1995					
Parques y jardines urbanos							
Ciudad central	1 957 290	1 760 359	-1.88	1 692 179	-0.92	1 730 316	0.22
Primer contorno	2 870 781	2 784 515	-0.54	2 728 294	-0.48	2 609 725	-0.43
Bosques y cañadas							
Primer contorno	773 096	813 803	1.40	838 242	1.34	916 399	1.32
Segundo contorno	964 373	1 096 728	2.21	1 173 618	1.60	1 309 456	1.01
Tercer contorno	64 545	81 102	4.03	96 773	4.13	130 511	2.88
Serranías de Xochimilco, Milpa Alta y Tlalpan							
Segundo y tercer contorno	831 146	965 932	3.15	1 048 341	2.61	1 200 372	1.72
Humedades de Xochimilco y Tláhuac							
Segundo contorno	484 541	588 205	3.44	672 577	3.22	779 036	1.45
Sierra de Santa Catarina							
Primer y segundo contorno	1 720 960	1 952 500	2.79	2 076 133	2.49	2 176 610	0.97
Sierra de Guadalupe							
Primer contorno	1 285 821	1 256 913	-0.4	1 235 542	-0.4	1 184 099	-0.41

Fuente: elaboración propia de los autores con base en INEGI 1990, 1995, 2000*a*, 2010.

La relación entre el ambiente y el crecimiento poblacional en esta región queda en evidencia en el análisis demográfico realizado en los últimos decenios. La región de Serranías de Xochimilco, Milpa Alta y Tlalpan comprende esas tres delegaciones, que a su vez están comprendidas en el segundo y tercer contorno. Como ya se había señalado, el crecimiento demográfico en estas delegaciones ha sido muy elevado en los últimos decenios. Llama la atención que estas tres delegaciones tienen tasas muy elevadas de crecimiento del orden de 2.07% en Tlalpan, 3.35% promedio anual en Xochimilco y 4.03% en Milpa Alta en el periodo 1990-1995, y disminuyen rápidamente en el periodo 2000-2010 a 1.10%, 1.19% y 2.88% promedio anual, respectivamente.

El tamaño de la población en esa región era de 831 146 habitantes en 1990 y alcanzó una cifra de 1 200 372 en 2010, debido a tasas de crecimiento elevadas, como se acaba de mencionar. La proporción de población con respecto a la población de la ciudad en 1990 fue de 9.95% y aumentó de manera significativa a 13.52% en 2010; el crecimiento demográfico y la expansión en el tamaño de la población representaron en el periodo de estudio una alta presión poblacional sobre los recursos.

La región de Humedales de Xochimilco y Tláhuac, que comprende estas dos delegaciones, tuvo un alto crecimiento demográfico, del orden de 3.35% y 3.53%, promedio anual en el periodo 1990-1995, respectivamente, el cual disminuyó significativamente en el periodo 2000-2010 a 1.19% y 1.70%, respectivamente. El tamaño de la población es importante en ambas delegaciones, al ser de 418 022 habitantes en Xochimilco y 361 014 habitantes en Tláhuac; debido al crecimiento demográfico y al tamaño de la población, estas delegaciones representan una presión demográfica importante sobre los recursos naturales y sobre el ambiente.

La región Sierra de Santa Catarina comprende las delegaciones de Iztapalapa y Tláhuac. En ambas, el crecimiento de población representó un alto impacto sobre los recursos. La delegación de Iztapalapa tiene el tamaño de población más grande de la ciudad con 1 815 596 de habitantes (2010), y tasas de crecimiento elevadas en el pasado, de 2.05% en 1990-1995, pero a la baja en el último decenio con una tasa de 0.23% promedio anual.

La región Sierra de Guadalupe comprende sólo la delegación Gustavo A. Madero, la cual tiene el segundo tamaño de población de mayor importancia, con una población de 1 285 821 habitantes en 1990, que disminuyó a 1 184 099 habitantes en el año 2010. Su crecimiento demográfico ha sido negativo desde 1990-1995, con una tasa de –0.4% promedio anual. Continuó así en el último decenio con una tasa negativa de –0.41%. Por su crecimiento demográfico actual, los impactos sobre los recursos son un poco menores, pero por su tamaño neto sigue representando una fuerte presión sobre el ambiente.

Conclusiones

El proceso de metropolización y urbanización de la Ciudad de México ha provocado una expansión física (mancha urbana) y poblacional desde su centro hacia la periferia, tal como se ha demostrado en este análisis demográfico. Esto ha representado un alto impacto sobre los recursos naturales y el medio ambiente, debido a la mayor demanda de recursos y servicios, como agua potable, drenaje y alcantarillado, vivienda, escuelas, hospitales y parques de recreación. Estas necesidades incrementan la problemática sobre los recursos naturales e impactos a la atmósfera para cada una de las regiones expuestas en el presente estudio.

Históricamente, la población se concentró en el primer contorno de la ciudad hasta la década de los cincuenta, y fue durante 1960 y 1970 que la población se expandió al segundo contorno, sin rebasar lo que fuera la zona lacustre. A partir de los años ochenta, la población creció hasta el tercero y cuarto contorno, invadiendo la zona de montañas y bosques. Las afectaciones a causa de ello van desde la

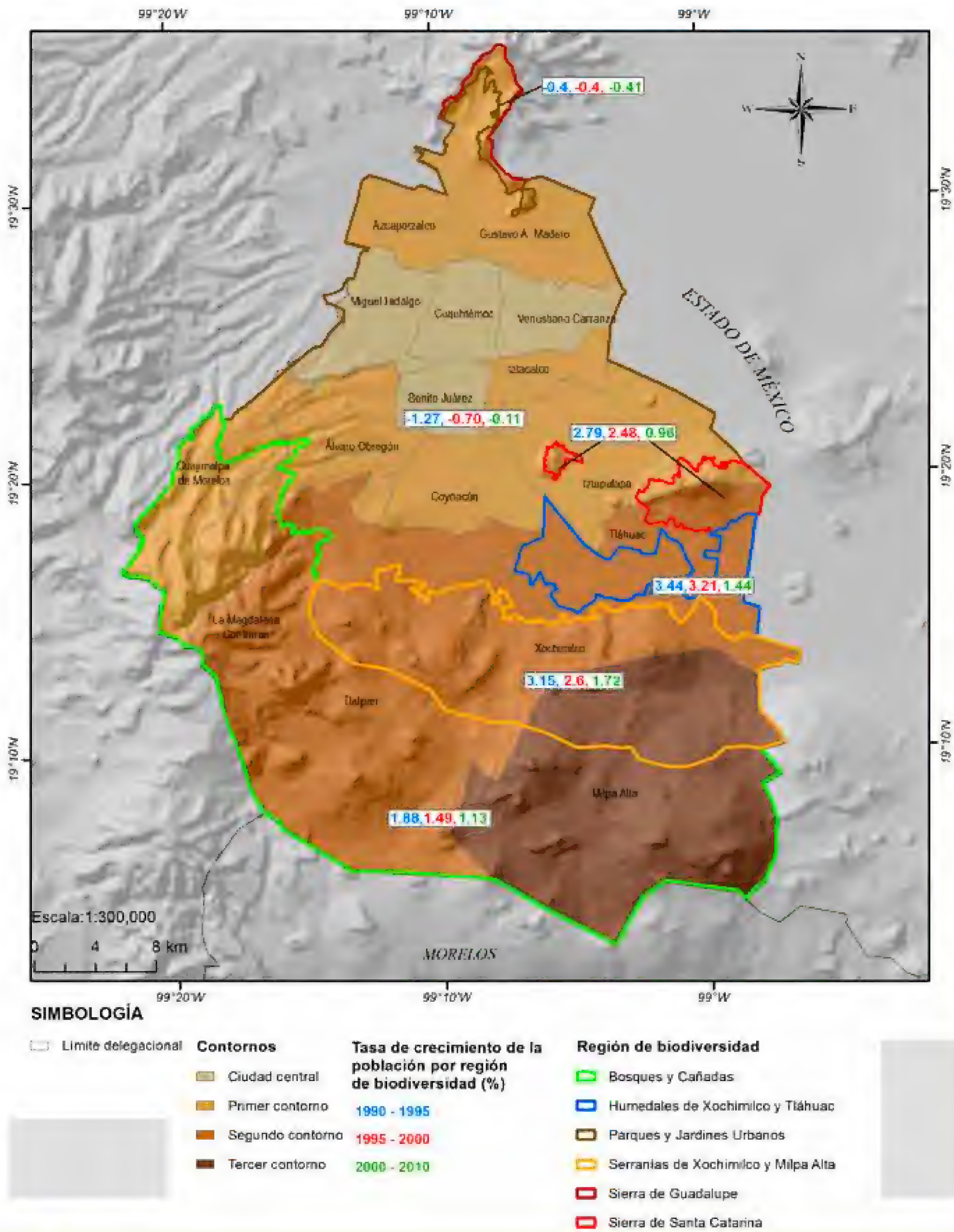


Figura 4. Mapa de dinámica poblacional de las regiones de biodiversidad. Fuente: elaboración de Diego Reygadas con información proporcionada por los autores, con base en INEGI 1995, 2000, 2005, 2010.

reducción de áreas de infiltración y recarga de agua hasta la disminución en los bosques que amortizan las condiciones climáticas.

Los procesos de expulsión observados en la ciudad central y el primer contorno durante las últimas dos décadas del siglo XX se debieron posiblemente a una serie de políticas relacionadas con el congelamiento de rentas, pero también al ensanchamiento de la ciudad hacia los contornos segundo y tercero. Esto convirtió a la ciudad central y al primer contorno en los espacios privilegiados para la rehabilitación, para el uso de oficinas, comercios y servicios. No obstante, los cambios generados por la política de cero crecimiento urbano en las siete delegaciones del sur mediante el Bando 2 (Decreto gubernamental que restringe el crecimiento urbano en la Ciudad de México), promovió la gentrificación (repoblamiento para sectores medios) del centro. Sin embargo, desde los primeros años del siglo XXI, la carrera hacia los cerros y laderas de las montañas que circundan la cuenca sigue sin ser un asunto resuelto.

Desde el inicio del siglo pasado y hasta la década de los setenta, el crecimiento se definió por la migración campo-ciudad. A partir de los ochenta y hasta la primera década del siglo XXI, el crecimiento se ha definido naturalmente, es decir, por la tasa de natalidad.

En las tres últimas décadas del siglo XX, se observó una aparente disminución de la población con tasas de crecimiento negativo en las delegaciones centrales. No obstante las políticas de renovación habitacional, el crecimiento natural y la migración interurbana mantienen el crecimiento de la ciudad, por lo que se que requieren acciones claras de protección de las áreas naturales protegidas, el suelo de conservación y los parques y jardines urbanos, para poder solventar una calidad de vida digna a los habitantes de la entidad.

Además de los anterior, también influyen en este proceso de interrelación con el medio las formas culturales y el grado de conciencia que la población asume para promover la sustentabilidad y las maneras en que desarrolla su vida cotidiana, así como los recursos tecnológicos que utiliza para transportarse, los tipos y montos de energía que usa para el desarrollo de sus actividades industriales, el manejo de los recursos naturales existentes y los hábitats en los que interactúan la biodiversidad y la población humana en su conjunto.[1]

[1] Edward W. Soja (2008) afirma que en la posmodernidad "estamos comenzando a tomar conciencia de nosotros mismos en tanto seres intrínsecamente espaciales, continuamente comprometidos en la actividad colectiva de producir espacios y lugares, territorios y regiones, ambientes y hábitats, quizás como nunca antes había sucedido".

Referencias

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1990. Censo General de población y vivienda. En: <*http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1990/default.aspx*>, última consulta: 14 de noviembre del 2012.

——. 1995. Conteo de población y vivienda. En: <*http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1995/default.aspx*>, última consulta: 14 de noviembre del 2012.

——. 2000*a*. Censo General de población y vivienda. En: <*http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx*>, última consulta: 14 de noviembre del 2012.

——. 2000*b*. Conteos, estimaciones y censos 1790 – 2000 para el D.F. Estadísticas Históricas de México, T. I., p. 3.

——. 2005. Conteo de población y vivienda. En: <*http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/default.aspx*>, última consulta: 14 de noviembre del 2012.

——. 2010. Censo de población y vivienda. En: <*http://www.censo2010.org.mx/*>, última consulta: 14 de noviembre del 2012.

Soja, W. E. 2008. *Postmetrópolis. Estudios críticos sobre las ciudades y las regiones*. Traficantes de Sueños. Madrid.

Estudio de caso

Recursos naturales en la ciudad. ¿Qué y quiénes han de hacer?

Boris Gregorio Graizbord Ed

Introducción

Un problema central para aquellos que se preocupan de la calidad de vida o bienestar social que puede ofrecerse en la Ciudad de México es, sin duda, la vulnerabilidad de los recursos naturales ante la acción humana, en el proceso de expansión física y demográfica de la metrópolis. En un paradigma de desarrollo que apostó desde los primeros años de la conquista por una racionalidad que poco tuvo que ver con el bienestar ambiental (Rodríguez 2005), los recursos naturales son hoy un tema central para la sustentabilidad de la cuenca.

Un recurso es algo útil para alguien, que puede ser tangible o intangible, renovable o no renovable, y que supone una evaluación previa de su uso para satisfacer alguna necesidad o deseo. En este contexto, un recurso debería mantenerse, con el propósito de asegurar el beneficio de los individuos, organizaciones o comunidades a las que sirven. Utilizar o explotar los recursos naturales ahora, o bien administrarlos para asegurar su permanencia, se convierte en un problema de desarrollo (Dunster y Dunster 1996, Gilpin 1996).

Recursos naturales

Para Abrams (1994) son tres las propiedades que permiten caracterizar los recursos como determinantes de la sobrevivencia y la reproducción de una población: que exista la probabilidad de que un individuo sobreviva y se reproduzca; que sea posible consumirlos, usarlos u ocuparlos (el agua, el aire, el espacio, son recursos), y por último, que su disponibilidad (cuantitativa o cualitativa) para otros individuos se reduzca con el uso.

El atributo locacional de un recurso, es decir, su distribución espacial, hace que la cantidad y calidad del mismo no esté determinada enteramente por su abundancia en otra parte (Abrams 1994). Sin embargo en la actualidad, la dependencia globalizada hace que el consumo y el poder de compra definan y afecten la disponibilidad local.

En la literatura del desarrollo regional, se explicó el bienestar regional con base en la dotación de recursos naturales. Ahora, estas condiciones se entienden como una forma particular de capital (Kn, "capital natural"), que no sólo incluyen la reserva de recursos sino algo más complejo —en el sentido sistémico del término—, como son los "servicios ambientales", que no representan necesariamente la sumatoria simple de los recursos existentes (Graizbord 2006).

Esta idea nos remite en realidad a la diversidad biótica y abiótica que ofrece la naturaleza; particularmente a la biodiversidad (como se ha popularizado el concepto). Si bien en publicaciones no especializadas se entiende la biodiversidad como la variedad y cantidad de especies en

Graizbord-Ed, B. 2016. Recursos naturales en la ciudad. ¿Qué y quiénes han de hacer?. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 200-202.

un ecosistema (Clark 2003), detrás de esa simple definición hay una enorme complejidad conceptual y sus implicaciones se tornan más complejas, cuando se consideran las relaciones sociedad-naturaleza. Un ejemplo de lo anterior es el caso de las comunidades urbanas de principios del siglo XXI, las cuales se expandieron sobre extensas regiones, alterando de diversas formas el hábitat natural de muchas otras especies animales y vegetales, agotando al límite muchos de los recursos naturales, al grado de hacer insuficientes e insostenibles los servicios ambientales locales. Esta misma situación se presentó en la Ciudad de México, que desbordó su crecimiento sobre la cuenca central.

En Mayhew (2004), se define la biodiversidad como la proporción entre especies y el número de organismos de cada una. Entre ellas se encuentran las especies en peligro de extinción o con diversas amenazas, cuyo problema es de carácter multidimensional y multifactorial, por lo cual la atención puede rebasar lo local, por el rango de distribución de las especies o, si no se toman las medidas necesarias, dentro de cada ámbito de acción.

En todo caso, la biodiversidad es un término utilizado de forma general para describir colectivamente la variedad, variabilidad, distribución y abundancia de la naturaleza, y engloba varios niveles de organización de los sistemas vivos: la diversidad genética (el complemento genético de todos los seres vivos), la diversidad taxonómica (variedad de organismos) y la diversidad ecosistémica. Esta última abarca las estructuras tridimensionales en la superficie terrestre, incluso los propios organismos, las funciones o servicios ecológicos (las interrelaciones entre organismos y ecosistemas, con su entorno inmediato y con el ecosistema global), y la matriz abiótica dentro de la que todo lo anterior existe (el suelo, el agua, el aire, los organismos y su interdependencia para subsistir) (Dunster y Dunster 1996).

Sin embargo, son las plantas y los animales las especies mayormente reconocidas de este complejo sistema, por ello la atención pública se orienta a su conservación. Una forma de hacerlo es a través de la preservación de especies en peligro de extinción y también del establecimiento de áreas protegidas o de conservación. Otra de las vertientes de conservación es cuando se busca mantener o recrear las condiciones para permitir la interconectividad de los ecosistemas con las complejas redes de especies y así tratar de conservar la vasta información genética (Gilpin 1996). Científicamente, esto se asocia al estudio de la biología evolutiva (Maienschein 1994), pero en la práctica resulta un aspecto esencial en la adaptación a cambios evolutivos en el marco de los problemas ambientales que enfrenta la humanidad (Burian 1994).

Ciudad y política urbana

Una forma de caracterizar una ciudad puede ser a partir de sus rasgos antropogénicos inconfundibles, es decir, aquellos materiales existentes que son producto de una drástica alteración de sus propiedades físicas y biológicas, ya sean originales o modificados por la acción humana. Las ciudades son el producto artificial de mayor escala producido a lo largo de la historia del ser humano, pero el impacto a través de cambios espacio-temporales en el ambiente, ya sea positivo o negativo, no ha sido causado sólo por acciones humanas, sino también por la actividad natural o abiótica (eventos geológicos o meteorológicos).

El ámbito artificial-urbano en el que vivimos, y en el que habitan hasta siete de cada 10 habitantes de la Tierra en la actualidad, requiere de una sobreexplotación de recursos, proporcional a la cantidad de personas que en ella habita. Estas afectaciones al entorno pueden ser inmediatas y locales, pero también pueden tener consecuencias a futuro, en interconexiones funcionales con consecuencia de escala global (principal pero no únicamente a través del cambio climático). En virtud de esta condición actual y por lo argumentado anteriormente, no es posible pensar en organismos o

entidades aisladas. Las aglomeraciones urbanas o ciudades existen porque se han desarrollado formas de organizar la dotación de alimentos, materiales, agua, energía, etc.; como resulta obvio para la Ciudad de México, a donde llegan del resto del país y del extranjero todo tipo de insumos que permiten la vida y las actividades humanas ininterrumpidamente. En su expansión y funcionamiento, especialmente a partir de los años cuarenta del pasado siglo, han desaparecido virtualmente los recursos bióticos y abióticos que existían en sus inmediaciones y en la cuenca lacustre en que se asentó la ciudad. Valdría la pena preguntarse si una población de 21 millones de habitantes dispersos territorialmente pudiera causar un mayor impacto ambiental o degradación ecológica. En este sentido, cabe argumentar a favor de políticas que permitan proteger, conservar y recuperar suelo, cobertura vegetal y superficie boscosa en particular, especies endémicas, el acuífero y lo que queda del sistema hidrológico de la cuenca. Lo anterior atañe a diversos órdenes de gobierno pero también a diversas dependencias en el mismo nivel y actuaciones público-privadas.

Conclusión

La relación entre la sociedad y el medio ambiente en la Ciudad de México es un problema que debe incorporarse a la agenda pública (aquí se incluye no sólo el gobierno, sino la ciudadanía, el sector privado y otros), con una perspectiva de relaciones intergubernamentales verticales y horizontales. Se sugiere la creación de espacios públicos verdes y su mantenimiento, la vigilancia y protección de áreas de conservación, el manejo adecuado de bosques existentes, la recuperación de cauces naturales, el desarrollo de jardines y parcelas productivas, el control y erradicación de especies exóticas e invasoras, y la restauración de ecosistemas, entre otros. En todas estas posibles acciones, están presentes múltiples intereses y grupos, lo cual requiere una relación estrecha entre gobierno y la sociedad civil. Decir esto no es demagógico si, en cada caso, se procura identificar a los corresponsables y se les compromete más allá de ciclos electorales. Ésta es una condición de gobernabilidad efectiva y ventajosa para gobernantes y gobernados. He ahí el reto.

Referencias

Abrams, P. 1994. Resource. Pp. 282-285. En: *Keywords in Evolutionary Biology*. E. Fox Keller y E.A. Lloyd (eds.). Harvard University Press, Massachussetts.

Burian, R. 1994. Adaptation: Historical Perspectives. Pp. 7-12. En: *Keywords in Evolutionary Biology*. E. Fox Keller y E.A. Lloyd (eds.). Harvard University Press, Massachussetts.

Clark, A.N. 2003. *The Penguin Dictionary of Geography*. Penguin Books, Londres.

Dunster, J. y K. Dunster. 1996. *Dictionary of Natural Resource Management*. UBC Press, Vancouver.

Gilpin, A. 1996. *Dictionary of Environment and Sustainable Development*. Wiley, Chichester.

Graizbord, B. 2006. Geografía y ambiente: de los recursos naturales al capital natural. Pp. 489-516. En: *Población, ciudad y medio ambiente en el México contemporáneo*. J.L. Lezama y J.B. Morelos (coords.). COLMEX, México.

Maienschein, J. 1994. Gene: Historical Perspectives. Pp. 122-127. En: *Keywords in Evolutionary Biology*. E. Fox Keller y E.A. Lloyd (eds.). Harvard University Press, Massachussetts.

Mayhew, S. 2004. *A Dictionary of Geography*. Oxford University Press, Oxford.

Rodríguez, H. 2005. *Ideología y política ambiental en el siglo xx*. La racionalidad como mecanismo compulsivo. UACM, México.

Estudio de caso

Enfoque de género y biodiversidad en la agenda política

María Teresa Munguía Gil

Introducción

El concepto de biodiversidad estuvo restringido en sus primeras formulaciones a los aspectos físicos de conservación o deterioro de los ecosistemas; fue hasta la década de los noventa cuando se vinculó con la relación que tienen las poblaciones humanas o las funciones de sus gobiernos, sobre el uso, manejo, acceso y conservación de estos recursos. La discusión internacional y nacional en relación con las decisiones de los gobiernos alrededor de la biodiversidad y la relación social con los ecosistemas se fue vinculando a las estrategias de adaptación y al cambio climático.

La política ambiental y de desarrollo se condicionó por la articulación de dichos temas y evolucionó en el discurso científico, social y político, concluyendo que el objetivo último de la sociedad y la política ambiental debe ser la adaptación que asegure la sobrevivencia universal, cubriendo las necesidades básicas de la población humana, a través de la permanencia de la biodiversidad y sus ecosistemas.

Sin embargo, no basta con admitir que la adaptación es el resultado del conjunto de actividades articuladas de subsistencia, y que para llegar a esta estrategia, es necesario agregar las características y relaciones de los agentes sociales que participan en cada ecosistema para cumplir, bajo determinado marco de políticas ambientales, la permanencia de la biodiversidad y los ecosistemas.

La adaptación en sí misma requiere del reconocimiento de las condiciones de vida y la condición social y de género en un territorio específico. La adaptación se entiende como los ajustes cognitivos, culturales, de conducta, comportamiento y hábitos que mujeres y hombres deben hacer de manera diferenciada para acortar la brecha de las desigualdades (Bourdieu 1980), diseñando estrategias para prever, enfrentar y actuar de manera personal y comunitaria a los efectos del cambio climático y conferir el éxito de su población a un hábitat dado.

Esta definición, es resultado del movimiento feminista que, a través de su práctica política, respaldó la relevancia de hacer estudios con perspectiva de género, para garantizar así qué tanto las poblaciones como las políticas ambientales consideraran los acuerdos internacionales de igualdad entre hombres y mujeres. Esto permitirá redirigir su práctica ambiental y lograr sociedades más justas, equitativas y sustentables, garantizando así el cuidado y la conservación de la biodiversidad sin vulnerar las condiciones de vida de mujeres y hombres de cualquier grupo cultural.

El presente estudio de caso permite dar cuenta del acercamiento de la práctica feminista en la construcción de políticas ambientales más equitativas y sustentables, cuyo éxito radica en la voluntad política de la articulación intersectorial en interfaz socioestatal. Lo ante-

Munguía, M.T. 2016. Enfoque de género y biodiversidad en la agenda política. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 203-208.

rior se entiende como el espacio donde actores societales y estatales interactúan y que están determinados estructuralmente tanto por la política pública como por los proyectos sociopolíticos de los actores concernidos (Insunza y Hevia 2006).

El estudio de caso permite tres cosas: considerar, de modo explícito, las estrategias de acercamiento del feminismo y las prácticas de género a la política ambiental, identificar capacidades potenciales en la articulación de la interfaz socioestatal y detectar la eficiencia del proceso de transmisión de información acerca del tema de género que incide, en el qué, el cómo y el dónde se producen las adaptaciones y las políticas ambientales sustentables con enfoque de género. El estudio muestra los cambios del concepto de biodiversidad, política ambiental y género, desde la práctica de la Red de Género y Medio Ambiente (RGEMA).

Género y biodiversidad: su inclusión en la agenda pública internacional

En el año 1971, surgió el programa El Hombre y la Biosfera (MAB, por sus siglas en inglés), para facilitar la cooperación internacional en materia de investigación, de experimentación y de formación en la gestión de recursos naturales. "El MAB se esfuerza en promover no solamente una mejor comprensión del medio ambiente, sino también un mayor compromiso de la comunidad científica en la elaboración de políticas a favor de una gestión racional de la biodiversidad" (UNESCO 2006). El MAB surgió como el primer programa vinculado a temas ambientales, en el que la participación social es colateral.

Es hasta 1992 cuando la comunidad internacional reconoció el valor de la integración sociedad-biodiversidad con la adopción del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) durante la Cumbre de Río, en donde se fijó el compromiso de conservar la biodiversidad, usarla de forma sostenible y de repartir sus beneficios equitativamente. Este convenio fue ratificado en 1993 (CDB 2013*a*); además, México ha ratificado los dos protocolos complementarios del CDB: Cartagena en el 2002 (sobre la seguridad en el uso de la biotecnología) y Nagoya 2012 (sobre el acceso y participación justa y equitativa en los beneficios que deriven de la utilización de la biodiversidad) (CDB 2013*b*). Aun reconociendo que desde el año 1979 surgió el primer instrumento para la protección de los derechos de las mujeres en la Convención para la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer (CEDAW, por sus siglas en inglés), adoptado por la Asamblea General de Naciones Unidas (ONU), es hasta el año 1992 cuando se reconoce el aporte primordial del enfoque de equidad de género, vinculado al medio ambiente y a la biodiversidad. En el CDB se plantea la función decisiva que desempeña la mujer en la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, en el que se afirma la necesidad de la plena participación de la mujer en todos los niveles de la formulación y ejecución de políticas encaminadas a la conservación de la diversidad biológica (CDB 1992). Dicha importancia es reconocida en el Principio 20 de la Declaración Política de Río, en donde se menciona que las mujeres tienen una participación vital en el manejo ambiental y el desarrollo; su participación plena es, por tanto, esencial para lograr el desarrollo sostenible (CDB 1992). Este convenio fue firmado por México en 1999, pero entró en vigor hasta el 2003.

Es en la Cuarta Conferencia Mundial sobre la Mujer celebrada en Pekín durante 1995, donde se identificó la necesidad de lograr la participación activa de la mujer en la adopción de decisiones relativas al medio ambiente y en la ejecución de los planes de desarrollo en todos los niveles, así como incorporar una perspectiva de género en todas las estrategias orientadas al desarrollo sostenible. La Plataforma de Acción de Pekín precisa la problemática ambiental percibida por las mujeres y se incorporan las acciones que hacían para solucionarla, así como "todas las medidas apropiadas para eliminar la discriminación contra la mujer en las zonas rurales a fin de

asegurar, en condiciones de igualdad entre hombres y mujeres, su participación en el desarrollo rural y en sus beneficios" (ONU 1979).

Género y medio ambiente en México

Los avances logrados en materia de género y medio ambiente a nivel internacional fueron definitivos para posicionar ambos temas en los programas nacionales. La promoción de una agenda ambiental y de género en México surgió de la iniciativa de la sociedad civil. A partir de 1996, la Red de Género y Medio Ambiente en ese año llamada "El Grupo de las 21": RGEMA, en alianza con la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN), impulsó la conformación de un grupo de trabajo con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca (en aquel año SEMARNAP) y la entonces Comisión Nacional de la Mujer (CONMUJER), con el fin de diseñar un plan de acción para incorporar el enfoque de género en las políticas ambientales (Mata 2007). La RGEMA realizó 20 talleres regionales, estatales, biestatales y nacionales con más de 300 mujeres de 80 organizaciones sociales, en 18 estados del país, dando como resultado la Agenda Verde (el resultado de ese proceso ha sido documentado en diversas publicaciones, Aguilar *et al.* 1999), la cual consolidó en interfaz socioestatal, la Declaratoria para la Equidad de Género, como adenda de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

La adenda permitió que en 1997 se creara en la SEMARNAP la Dirección de Equidad de Género y que entre los años 1998 y 1999 se realizara la Primera Reunión de Trabajo sobre Género y Medio Ambiente, entre la SEMARNAP, la CONMUJER y la RGEMA, dando como resultado la Perspectiva de Género en la Política Ambiental a través del Plan de Acción de Trabajo de la SEMARNAP. En junio de 1999, la entonces titular de la SEMARNAP, Julia Carabias, emitió la Declaración para la Equidad de Género, única en el ámbito gubernamental federal. La adenda se orienta en el año 2000 al Programa Nacional de la Mujer y se logran incluir políticas de género y medio ambiente en la política federal y en el Gobierno. En dicha adenda podemos encontrar que:

> reconocen las diferencias y desigualdades entre hombres y mujeres para acceder, controlar, usar y beneficiarse de los recursos naturales y se proponen construir la perspectiva de la equidad de género en las políticas ambientales. Con ello se hace pública la voluntad política gubernamental para incluir el tema de género en la agenda ambiental (CONMUJER 2000).

Desde esta perspectiva, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la RGEMA, la SEMARNAT y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se propusieron en 2005 promover el análisis de género y la participación de las mujeres en torno al uso, gestión, manejo y acceso al agua; considerando la relevancia del tema en el marco de la realización del IV Foro Mundial del Agua, que tuvo lugar en la Ciudad de México, en 2006. La RGEMA impulsó la Agenda Azul de las Mujeres, y llevó una metodología común para realizar siete talleres en los que participaron 239 mujeres y 35 hombres de 10 estados de la república (Veracruz, Puebla, Tabasco, Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Chihuahua, Chiapas, Oaxaca y Estado de México) y la capital. El documento identifica las características y condiciones de las actividades de gestión y toma de decisiones relacionadas con el agua por parte de las mujeres en comunidades rurales y semiurbanas; a la vez, busca formular una agenda de incidencia del género en las políticas públicas y contribuir al debate sobre la participación de las propias mujeres en el sector hídrico (Salazar-Ramírez 2006).

Con motivo de la realización del IV Foro y del deseo de emitir otras voces sociales en torno al agua, surgió la Coalición de Organizaciones Mexicanas por el Derecho del Agua (COMDA), que aglutina 16 instancias o redes de la sociedad civil. Esta coalición, junto con la Asamblea en Defensa del Agua y la Tierra, organizan el Foro Internacional en Defensa

del Agua, posicionando en el espacio público el derecho humano a dicho recurso.

Proyectos de género y ambiente

Ante los compromisos del Programa General de Igualdad de Oportunidades y no Discriminación hacia las Mujeres de la Ciudad de México, establecido en 2007, se planteó como uno de los objetivos:

> Consolidar el desarrollo sustentable de la Ciudad de México, a través de la participación y el ejercicio responsable y equitativo de toda la ciudadanía en la ordenación, conservación, protección y rehabilitación del medio ambiente y los recursos naturales, fomentando la inclusión y participación activa de las mujeres en la generación de políticas ambientales de forma que les permitan incorporar las necesidades específicas con respecto al uso, gestión y control de los recursos.

Para lograr dicho objetivo se estableció una partida presupuestal. Frente a los logros en el tema de agua y género, así como los compromisos en política ambiental y presupuestal, se articuló un proyecto en el 2007, que permitió continuar con el proceso de incidencia y negociación en el tema. La asociación civil Mujer y Medio Ambiente (integrante de la RGEMA) impulsó el proyecto en la delegación Xochimilco para abordar la problemática del agua desde la perspectiva de género, obteniendo como resultado el Modelo de Planeación de Políticas del Agua con Enfoque de Género. Aunado a este proyecto, se llevó a cabo un proceso de gestión con el Instituto de las Mujeres del Distrito Federal (IMDF), en el que se impulsó la primera generación de plomeras en la delegación Iztapalapa, acción a la que se sumaron la Secretaría del Medio Ambiente, la Procuraduría Social y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México. De esta manera se generó un área de oportunidad laboral no tradicional para las mujeres en el tema de cuidado del agua. La capacitación a nuevas generaciones de plomeras quedó en la responsabilidad del IMDF.

En 2010, la RGEMA estableció como tema coyuntural "el género y cambio climático", y se articuló con el PNUD, la SEMARNAT y la UICN para establecer la Agenda de Género y Cambio Climático de cara a la Conferencia de Partes (COP16), que se celebró en Cancún, México, en diciembre del mismo año. En este contexto se realizó una serie de talleres en seis estados del país: Yucatán, Veracruz, Zacatecas, Chihuahua, Chiapas y Tabasco, para elaborar la Agenda. En los resultados se obtuvo un acercamiento al tema de género y cambio climático, sin lograr desde la perspectiva de la REGEMA una declaratoria en relación con el tema; pero se hace un posicionamiento público argumentando que, a pesar de la riqueza encontrada en los resultados de los talleres, éstos

> no arrojan elementos suficientes para redactar una declaratoria, pues tanto la metodología como los resultados obtenidos no se orientaron a este propósito. Tampoco es posible formular propuestas de alcance nacional o internacional con suficiente conocimiento y fundamentación para incidir en el proceso de negociación tal y como está planteado en la actualidad (UNIFEM 2010*a*).

Por su parte, la SEMARNAT y la UICN integraron los resultados de dichos talleres con otros realizados a nivel nacional con los Consejos Consultivos de Desarrollo Sustentable y otras alianzas, con redes y organizaciones de mujeres y hombres de diversos sectores de la sociedad civil de 26 entidades federativas. El fin fue elaborar la Declaratoria Mexicana de Género y Cambio Climático (UNIFEM 2010*b*), misma que se presentó en la COP16. Posteriormente, estas instituciones realizaron una reunión de balance con el fin de recapitular los logros, retos y oportunidades en la Agenda de Género y Cambio Climático en México a partir de la COP16, coordinada por el PNUD y el Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA), para documentar la percepción de las mujeres en relación con la declaratoria.

Si bien el proceso de construcción de la Agenda de Género y Cambio Climático se inscribe en el contexto nacional, las contribuciones de los estados son vitales para profundizar en el análisis de las asimetrías de género en el manejo y la gestión de la biodiversidad y las políticas ambientales. En los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Zacatecas, Yucatán, Chihuahua, Campeche y Tabasco, así como en la Ciudad de México, se instrumenta un plan de acción con la participación de la sociedad civil y la academia, para aportar elementos a favor de la construcción de la Agenda. Por el centralismo que se vive en México, el papel de la ciudad en la puesta en marcha de la Agenda es crucial, pues en gran medida es el territorio de las negociaciones, la gestión y la incidencia en políticas públicas de género.

En paralelo a la elaboración de la Agenda de Género y Cambio Climático, durante el año 2015 la UICN junto con el PNUD, la SEMARNAT y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), realizaron un taller para transversalizar el enfoque de género en las estrategias REDD+, obteniendo un documento que sugiere líneas estratégicas de acción. El resultado de dicho taller es el Plan de Acción que incorpore la perspectiva de género en el contexto de REDD+ (PAGEREDD+) cuyo objetivo es contribuir a que en las distintas acciones que se lleven a cabo en el marco del mecanismo REDD+ se asegure la igualdad de género. Está orientado a fortalecer el desarrollo de capacidades técnicas e institucionales y a contribuir a la tranversalización de la perspectiva de género en las políticas, programas y acciones tempranas (UICN 2014).

Para el 2016 y ante la responsabilidad del gobierno mexicano de diseñar la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y su Plan de Acción (ENBioMex 2015–2030), la UICN junto con CONAFOR realizan un taller con expertas académicas y de organizaciones de la sociedad civil, para transversalizar el enfoque de género en la ENBioMex. El resultado, es la elaboración de un documento que hoy día está en proceso de negociación para su integración a la ENBioMex.

Conclusiones y retos

Abordar el vínculo entre género y biodiversidad, ya sea en el ámbito rural, urbano o de políticas públicas, implica conocer el binomio género-ambiente (agua, bosques, costas, cambio climático etc.) y reconocer los compromisos que adquiere el gobierno mexicano frente a la disminución de las desigualdades de género. Es necesario para ello analizar el papel que juegan las mujeres y los hombres de cualquier sector con los ecosistemas y la biodiversidad.

Las políticas sobre biodiversidad, sustentabilidad y cambio climático requieren un ajuste desde el enfoque de género para homologar programas y sustentarse en la misma base de los acuerdos internacionales y los compromisos firmados por México en las Conferencias Internacionales de Género. Por las condiciones de centralismo en el país, la Ciudad de México seguirá abanderando la gestión e incidencia en el tema género y biodiversidad, articulando los conocimientos, estrategias y retos que proponen de los estados.

Será un reto involucrar a los sectores estratégicos para el diseño e instrumentación de políticas de género vinculadas a los acuerdos internacionales y nacionales sobre biodiversidad, para que el trabajo intersectorial, interinstitucional y de interfaz socioestatal sea la base de las alianzas, programas y políticas en materia de género y biodiversidad.

Dar seguimiento y evaluar la eficacia del estado actual de implementación de estas políticas es quizás una de las acciones en las que menos se han comprometido gobierno y actores de la sociedad civil. Sin embargo, es muy importante avanzar en ese sentido, pues si los instrumentos existen y su diseño y acuerdos nacionales e internacionales han tardado más de tres décadas para su consolidación, sería conveniente propiciar las tareas conjuntas necesarias, para lograr un diagnóstico objetivo del estado del arte y, a partir de él, proyectar hacia el futuro las acciones públicas por seguir para su consecución.

Referencias

Aguilar, L., I. Castañeda, R. Cortes, *et al.* 1999. *La ineludible corriente. Políticas de equidad de género en el sector ambiental mesoamericano*. Absoluto, San José de Costa Rica.

Bourdieu, P. 2007. *El sentido práctico*. Editorial Siglo XXI, Buenos Aires.

CDB. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 1992. *Convenio sobre la Biodiversidad Biológica*. Organización de las Naciones Unidas.

——. 2013*a*. List of Parties-Cartagena Protocol. En: <*http://www.cbd.int/ convention/parties/list/#tab=0*>, última consulta: 21 de diciembre de 2015.

——. 2013*b*. List of Parties-CBD. En: <*http://www.cbd.int/ convention/parties/ list/#tab=1*>, última consulta: 21 de diciembre de 2015.

CONMUJER. Comisión Nacional de la Mujer. 2000. *El género en las políticas ambientales*. Avances y perspectivas. Fundación Friedrich Ebert Stiftung. México.

Insunza, E. y F. Hevia. 2006. *Relaciones sociedad civil-Estado en México, un ensayo de interpretación*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS)/Instituto de Investigaciones Histórico-Sociales de la Universidad Veracruzana, México.

ONU. Organización de las Naciones Unidas. 1979. Convención para la Eliminación de todas las formas de Discriminación contra la Mujer. En: <*http://cedoc.inmujeres.gob. mx/ documentos_download/100039.pdf*>, última consulta: 20 de noviembre 2012.

Salazar-Ramírez, H. (coord.). 2006. *Agenda Azul de las Mujeres*. Red de Género y Medio Ambiente/PNUD/SEMARNAT/IMTA, México.

UICN. Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza. 2014. Plan de Acción de Género para REDD+ méxico PAGEREDD+. Alianza México REDD+/Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)/The Nature Conservancy/ Rainforest Alliance.

UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2006. El Hombre y la Biosfera. En: <*http://www.unesco.org/bpi/pdf/memobpi23_MAB_es.pdf*>, última consulta: 12 de Julio de 2012.

UNIFEM. Fondo de Desarrollo de las Naciones Unidas para la Mujer. 2010*a*. Posicionamiento de la Red de Género y Medio Ambiente sobre género y cambio climático. En: <*http://www.unifemweb.org.mx/index.php?option=com_content&view=article& id=379%3Aredgemma&catid=65%3Anoticias-situacion-mundo&Itemid=29*>, última consulta: 13 de julio del 2012.

——. 2010*b*. Declaratoria Mexicana sobre Género y Cambio Climático. En: <*http://www.unifemweb.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=380%3Adeclaratoria-mexicana-cambio-climatico&catid=62%3Anoticias-region&Itemid=29*>, última consulta: 17 de abril del 2012.

Estudio de caso

Recuerdos de la cosecha lacustre

Mario Ortega Olivares

Introducción

Tenochtitlán, el corazón del imperio mexica, se asentaba en una de las islas de la cuenca de México. En su sistema lacustre podían distinguirse los lagos de Xochimilco, Texcoco, Chalco, Xaltocan y Zumpango. Se pescaba en estas aguas con fisga, red manual, caña de pesca y *atlatl*. La fisga, o *minacachalli*, era una lanza que terminaba en tres puntas, y el *atlatl* se componía de un arpón y un lanzadardos. Los pescadores consumían el *iztacmichin*, o pescado blanco (*Chirostoma humboldtianum*), y el *amilotl* (*Chirostoma humboldtianum*); además de charales (*Chirostoma jordani*) y *xohuillin*, o juiles, de la familia Cyprinidae. A partir del trabajo de Rojas y Sanders (1985) sobre la cosecha del agua, Espinosa (1996) construye una correlación entre los nombres en náhuatl de los peces que existían en la cuenca antes de la Conquista y su taxonomía contemporánea (cuadro 1).

Además del registro de las especies que componían la pesca ancestral, también se guarda el recuerdo de las formas en las que

Cuadro 1. Traducciones de los nombres en náhuatl de peces y sus nombres científicos.

Nombre científico	Nombre náhuatl
Familia Atherinidae	Iztacmichin
Chirostoma humboldtianum	Amilotl, Xalmichin, Iztacmichin
Chirostoma humboldtianum	Yacapitzahuac: variedad A
Chirostoma jordani	Yacapitzahuac: variedad B
Familia Cyprinidae	Xohuillin
Algansea tincella	Xohuillin y Yayauhqui (sin precisar cuál es)
Notropis sallaei	Xohuillin y Yayauhqui (sin precisar cuál es)
Evarra eigenmanni	Xohuillin
Evarra tlahuacensis	Xohuillin
Evarra bustamantei	Xohuillin
Familia Goodeidae	
Girardinichthys viviparus	Michtlapictli o Metlapique, Cuitlpetotl, (o por lo contrario) Yacapitzahuac
Skiffia lermae	
Otros peces comunes	Michzacuan, Michpapatlac, Topotli, Tetzonmichin, Xauhichi y Zoquimichi

Fuente: Espinoa 1996.

Ortega, M. 2016. Recuerdos de la cosecha lacustre. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 209-213.

éstas eran cocinadas; por ejemplo, el pez *michpictli* se comía tostado y envuelto en hojas de mazorca; también el *michtlapictli*, o metlapique (*Girardichtys viviparus*). El *michimolli* se preparaba con charales, acociles o camarones de chinampa, además de pescaditas, con chile guajilllo, epazote y nopales (Rojas 1998). Los *atepocates*, o renacuajos, eran comidos por *macehuales*, a diferencia del *axolotl*, o ajolote (*Ambystoma mexicanum*), considerado alimento de señores.

Luego de siglos de irracionales esfuerzos de los gobiernos de la Ciudad de México para desecar los lagos, la zona lacustre se ha reducido al mínimo y la sobrevivencia de especies nativas como el ajolote está en cuestión. A fin de rescatar los testimonios de lo que fue la cosecha de los lagos a principios del siglo pasado, se presenta el resultado de una serie de entrevistas realizadas entre los años de 2007 y 2009 a un grupo de ancianos originarios de los pueblos lacustres que sobreviven en las riberas del lago de Xochimilco.

Remembranzas del viejo sistema lacustre

Los *huehues* (palabra en náhuatl que significa *ancianos*) recordaron que los manantiales de San Luis Tlaxialtemalco alimentaban con agua pura y dulce la laguna y los canales. Las canoas subían y bajaban, como ahora suben los taxis, y llegaban a un costado de la iglesia del pueblo de Tzapotitlan. Después se secó la ciénaga de Tempilluli cuyas tierras se repartieron en ejido. A continuación se presenta el testimonio, sobre la época en que todavía no se secaban las lagunas:

> Y ya nomás quedó el acalote. Un canal que viene de Chalco y entra por aquí, pasa por Mixquic y viene a salir a San Juan Tulyehualco. El delegado de Tláhuac pagaba la limpia, para que en tiempos de lluvias no se reventara el canal, pero de todos modos se reventaba, eso sí, el agua venía bien limpiecita. (Anciano anónimo oriundo de la región).

En los cuerpos de agua donde antaño había chinampas floridas, ahora sólo llegan aguas negras tratadas en la planta del cerro de la Estrella. Doña Tecla Ríos, de 92 años, relata:

> En la laguna había plantas comestibles, peces, pescado blanco, carpas, pescadita, tortugas, acocil, jumiles, atepocates y ajolotes; en las chinampas se sembraba maíz y se recolectaban las cañuelas.

Los pescadores iban en sus canoas por el pescado y ya en la tarde salían con su pesca para venderla, comenta el señor Vázquez, pescador de 78 años:

> Bajábamos por el pescado y lo íbamos a vender a Xochimilco, venían trajineras a cargar y nos llevaban; era barato. Al retraerse la laguna, la ciénaga de Tempilluli todavía se anegaba en tiempos de lluvia y se secaba en tiempos de calor. Era cuando se arreglaba el campo y se surqueaba para sembrar.

Por su parte, doña Guadalupe Chavarría Miramar a sus 76 años relata:

> Para hacer los surcos se usaba la yunta y se sembraba el maíz que crecía pero no maduraba, porque si llovía se inundaba. Entonces los campesinos iban a Tláhuac, para pedir chalupas y poder sacar los elotes, el maíz, todo lo que se pudiera de lo que se había sembrado.

La esposa de don Luciano Chavarría asegura que la ciénaga de Tempilluli comenzó a secarse en 1944; lo recuerda porque en ese año murió su suegro, quien era un gran pescador. Don Luciano precisa:

> Sí, yo le ayudaba a mi papá a pescar; él me contaba que la laguna llegaba hasta los cerros y estaba unida al lago Tláhuac, pero ya no lo vi. Mi padre cultivaba en chinampas; iba en su canoa, cortaba la cinta (vegetales flotantes) con una coa parecida a un hacha, cortaba zacate y así levantaban sus chinampas.

Doña Apolonia Cresencia Peña, hija de familia de pescadores, a sus 77 años, recuerda cómo, después de que su primo iba a pescar:

> Le quitábamos las tripitas a los pescados, les lavábamos su piquito y los hacíamos en *tlapique*, en una hoja de maíz, con sus nopalitos y *xoconoxtle* picados, con venas de picante y su epazote. Los enredábamos y los poníamos en el comal.

La gente de estos pueblos gustaba de los *tlapiques*, que describen como tamales de charales, pescado o tripas de pollo, asados con el *totomoxtle*, la hoja externa del maíz que resiste más al calor. Sin embargo, para los cronistas que escribieron tras la Conquista española, un *metlapique* era un tipo de pez.

El *Girardichtys viviparus*, efectivamente, se comía tostado envuelto en hojas de mazorca. La gente del pueblo extendió el concepto de *tlapique* a todo alimento que van a tostar envuelto en *totomoxtle*, lo cual incluye peces, nopales y tripas de pato. Sigue comentando doña Apolonia:

> En la laguna había patos que cazaban con escopeta de chispa o con la armada. Son como las armadas que todavía se usan en las fiestas del pueblo para lanzar varios cohetes al mismo tiempo. Se sujetaban las escopetas a la misma varilla, todos los cañones de la armada apuntaban a los patos y órale... Se requerían unas 15 o 20 personas para recoger a los patos, muchos atrapaban cinco o seis. La gente vivía matando patos, cuando paraban las lluvias la gente se mantenía de la pesca, luego venía el otro año y otra vez, era un ciclo.

Los patos se preparaban en mole verde con pepita de chile y pepita de calabaza, o en caldo para la comida. Las garzas medían aproximadamente medio metro de largo ya limpias, pero no se podían comer. De acuerdo con personas que viven en la zona, "también se comían las tripas de pato muy limpiecitas en *tlapiques*". Ahora, como ya no hay patos tras la desecación lacustre, emplean tripas de pollo. Según nos comentaron:

> Vas a la pollería a que te regalen las tripas de pollo, se exprimen para sacarles todo; con un cuchillo de punta se corta la tripa a lo largo, les echas sal y las lavas como si fueran ropa. Los pones en una cazuela y les cambias el agua unas cinco veces, luego cortas epazote, nopalitos y venas de chile guajillo o pasilla. Todo bien lavado y picado. Se ponen en el comal cuatro o cinco porciones; cuando la hoja se quema de un lado se voltean; tardan en cocerse como una hora, y así se comen, con tortillas acompañados por una sopa, a cada quien se le da su tamal y a comer muy rico...

El *ahuahutle*, otro alimento prehispánico, es el platillo más selecto de la cocina lacustre. Todavía lo comen, pues lo traen desde Zumpango para su venta. Es un lujo, porque lo venden a 70 pesos el cuarterón. La medida del cuarterón es una lata de sardina, con dos latitas sale un cuartillo. A continuación se presenta la receta para preparar el *ahuahutle*, tal como la confiaron las ancianas:

> La hueva viene bien seca, hay que darle una limpiadita. Se vacía en una servilleta y se le da una mecidita en el trapo para que todas las basuritas se adhieran a la tela. La mecidita se da moviendo una mano para arriba y otra para abajo, y de allá para acá. Después se vacía, se sacude la servilleta y se sigue sacudiendo hasta que quede totalmente limpia. Luego se le da una tostadita en el comal, como con el amaranto, ya tostadito. El *ahuahutle* se molía en el metate con el *metlapil* o brazo, hasta que se hace pinolito. Después se le da una mezcladita con huevo y condimentos. En la cazuela se ponía manteca, se freía, se hacían unas tortas y se volteaban de los dos lados. Quedaba un pastelito, una torta de *ahuahutle*. Para comerlo se partían en triangulitos como una pizza.
>
> A mí me encanta en salsa verde con tomate verde de cascar, chile verde, ajo, sal y cebolla.

Cuando la salsita está lista se le sueltan los triangulitos de ahuahutle; también se acompaña con calabacitas tiernas partidas y nopalitos picados al gusto. Para darle un olorcito o *bouquet* agradable, para que digan ¡mmm, qué rico! Se le pica cilantro, que es un condimento muy sustancioso, agradable por el olor y el sabor que le da al caldo".

Una persona de edad o de respeto originaria de la zona afirmó que:

> El *atepocate* es un pescadito que nace chiquito y barrigón, entonces va creciendo y tiene su colita, pero sigue creciendo y llega cierto tiempo cuando le salen patitas y se le cae la colita. ¿Qué es ese animalito? ¡Una ranita!.

El *atepocate*, en estado larvario, era otro animal lacustre que también destripaban y comían en *talpique*. Los ajolotes se preparaban en el tamalito, pero primero los limpiaban con ceniza para quitarles la piel. El que quería comer temprano se llevaba *petroleros* (para iluminar) en la chalupa, con la fisga de seis uñas cazaban las ranas. Una de las abuelas comentó, como dato curioso, que las ranas todavía se movían después de destriparlas.

> Había mucho pescado, mucho pato, mucha rana, mucho ajolote; mi papá se bajaba a la chinampa, según él para traer para la comida. Luego decía mi mamá: "¡Ay, no tengo para la comida! ¿Qué vamos a comer ahora?". "¿No tienes?", decía mi papá, "espérame ahorita vengo". Agarraba la chalupita, remaba y se bajaba para abajo. Como a la media hora, ya viene con sus dos gansos, sus dos patos, sus ranas. La rana se comía en caldillo de jitomate.
>
> Mi papá nos decía: "Miren: sáquenle a la rana, la escalera, la cruz". Decía mi papá: "Sí, hija, aquí está el martillo, los clavos". Las cocían, las pelaban y luego nos enseñaba.
>
> Los patos en caldo blanco, qué rico sabían; ahora ya ni tienen sabor, ya no son como antes, todo nos vamos acabando.

Comentarios finales

El secuestro del agua de los manantiales de Xochimilco para calmar la sed de la ciudad, iniciado en la época de Porfirio Díaz, más la clausura definitiva del canal de la Viga como vía fluvial en 1938 (FUNDLOCAL 2007) y posteriormente durante el gobierno de Miguel Alemán en 1952, modificó el paisaje, el lago, la forma de vida y la producción agrícola, deteriorando la vida lacustre al sur de la ciudad. La memoria colectiva de sus actuales habitantes es un reservorio histórico de la riqueza de la biodiversidad que hubo en esa parte de la cuenca y del uso racional que las comunidades lacustres hacían de los recursos naturales de su entorno, guiados por los ciclos naturales que ofrecían las distintas especies de animales y plantas. Hoy el agua tratada que el lago de Xochimilco recibe de la planta de tratamiento del cerro de la Estrella resulta insuficiente, pero además pone en riesgo a las especies acuáticas nativas y resta posibilidades de abastecimiento de agua de calidad adecuada para usos urbanos, industriales y hasta domésticos, para una parte de los habitantes de varias colonias de la delegación Iztapalapa que carecen de ese servicio. Ésas son algunas de las preocupaciones que hoy están presentes en el imaginario colectivo de la mayoría de los capitalinos.

Referencias

Espinosa, G. 1996. *El embrujo del lago. El sistema lacustre de la cuenca de México en la cosmovisión mexica*. UNAM/Instituto de Investigaciones Históricas/Instituto de Investigaciones Antropológicas, México.

FUNDLOCAL. Fundación para el Fortalecimiento de los Gobiernos Locales. 2007. Ciudad de Ciudades. FUNDLOCAL, México.

Rojas, T. y W.T. Sanders. 1985. *Historia de la agricultura. Época prehispánica-siglo XVI*, vol. I. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Rojas, T. y J.E. Pérez. 1998. *La cosecha de agua en la Cuenca de México. La pesca en el medio lacustre y chinampero de San Luis Tlaxialtemalco*. CIESAS. México.

Marco institucional y normativo

Foto: César Hernández Hernández

3

Resumen ejecutivo

Marco institucional y normativo

Marcos Raúl Alejandre Rodríguez Arana

A lo largo de esta sección se presenta una breve y detallada exposición de los instrumentos que a nivel federal y local rigen la política de protección de la biodiversidad en la Ciudad de México, incluyendo también en forma concreta los tratados internacionales. Se muestra así la relación directa o indirecta que éstos, junto con las leyes y reglamentos de los diferentes órdenes de gobierno, tienen en la formulación de políticas de conservación, regulación de usos y de mitigación de daños.

El análisis de los instrumentos nacionales parte de la Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, como aquel documento en el que se consagran las directrices y bases en torno a las que se desarrollará la organización del país; posteriormente son analizadas las leyes y reglamentos emitidos por el Congreso de la Unión y el Poder Ejecutivo Federal respectivamente, para finalmente abordar el marco local que priva en la entidad, regido por las leyes y reglamentos expedidos por su Asamblea Legislativa y Poder Ejecutivo respectivamente.

Además, se esboza brevemente la forma en que diversas organizaciones de la sociedad civil promueven, en diferentes formas y a través de medios diversos, la conservación de los recursos naturales bióticos y abióticos de la ciudad, coadyuvando de manera importante con el cumplimiento del objeto de las diferentes políticas públicas establecidas en la materia.

Respecto de la política pública, ésta es analizada no sólo en su entorno actual de aplicación, sino también en un contexto histórico, siguiendo la línea de su desarrollo. Ello hace posible ver cómo su evolución ha atendido a través del tiempo la creciente preocupación acerca de la importancia que tiene proteger los reductos de biodiversidad con que contamos en la Ciudad de México, incrementando así el nivel de conciencia de la ciudadanía en este sensible tema.

Finalmente, en esta sección se pone de manifiesto el impacto y alcance que la aplicación de las políticas de conservación ha tenido en beneficio de los recursos biológicos presentes en la ciudad.

Rodríguez-Arana, M.A. 2016. Resumen ejecutivo. Marco institucional y normativo. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, p. 217.

Marco jurídico e institucional y política pública

Salvador Eloy Muñúzuri Hernández
Javier de Jesús Riojas Rodríguez
José Francisco Bernal Stoopen
Marcos Raúl Alejandre Rodríguez Arana

El crecimiento de la mancha urbana en la Ciudad de México y sus zonas aledañas ha llevado a la modificación e incluso eliminación de gran parte de los ecosistemas y biodiversidad que alguna vez ocuparon en la cuenca de México. Actualmente, las especies que han sobrevivido, especialmente las endémicas, corren riesgo de desaparecer si el deterioro ambiental en el territorio continúa como hasta ahora y no se toman las medidas de remediación, compensación o mitigación que hagan compatible su subsistencia; para lo cual se deben generar e implementar políticas de uso de suelo acordes con el crecimiento de la metrópoli y el mantenimiento de servicios ambientales en el suelo de conservación.

En este capítulo se muestran los cambios que ha experimentado la gestión ambiental en el ámbito de competencias de la Ciudad de México, para posteriormente mostrar un panorama general sobre la existencia, alcance y viabilidad del marco jurídico de los tres niveles de gobierno —cuyas disposiciones regulan el tema de análisis—, de las instituciones públicas, privadas y académicas —cuyas actividades tienen incidencia en la materia— y de los diversos programas de políticas públicas para conservar el medio ambiente y la biodiversidad presente en la entidad.

Marco Legal

Una de las expresiones de protección de la biodiversidad más significativas con las que cuenta el Estado la encontramos en las normas jurídicas, las cuales, sin embargo, se encuentran dispersas y no siempre guardan una orientación y bases comunes.

La protección de la biodiversidad requiere de un conocimiento especializado para tratar de entender las consecuencias reales que puede generar la falta de previsión y regulación adecuada. Frecuentemente, somos conocedores de noticias como el peligro de extinción que corren diferentes especies, el riesgo constante de contaminación de los ecosistemas, el deterioro en la calidad de las aguas de mares y ríos, así como la paulatina desaparición de la cubierta forestal, que a su vez provoca erosión y contaminación del agua, perjudicando los ecosistemas con que interactúan.

Es notoria la creciente preocupación que muestran los estados ante esta problemática. Al respecto, en México han sido publicadas diversas leyes y reglamentos sectoriales con los que se pretende regular la actividad humana en relación con los recursos naturales y la biodiversidad. A continuación se hará un breve análisis de estos cuerpos normativos, no sin antes observar el marco que a nivel internacional rige el tema.

Nivel internacional

Históricamente, el primer instrumento internacional del que México formó parte en materia de protección de la biodiversidad es la Convención para la Protección de Aves Migra-

Muñúzuri, S.E., J. Riojas-Rodríguez, J. Bernal-Stoopen y M.A. Rodríguez-Arana. 2016. Marco jurídico e institucional y política pública. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 218-250.

torias y de Mamíferos Cinegéticos,[1] firmado en 1936 con los Estados Unidos de Norteamérica, cuyo objetivo era el de proteger las aves migratorias, cualquiera que fuera su origen, por lo que convinieron en dictar leyes, reglamentos y disposiciones al respecto.

Posteriormente, en 1940 se firmó la Convención para la Protección de la Flora, de la Fauna y de las Bellezas Escénicas Naturales de los Países de América, junto con los países de la Organización de Estados Americanos (OEA).[2] Con dicha convención, se definieron diferentes áreas de valor natural y se convino en la necesidad de la creación de estructuras orgánicas que se ocuparan de ellas, al tiempo que se adoptaron medidas de protección para la fauna, la flora y la investigación científica de ciertos espacios protegidos, contemplando también la emisión de instrumentos legislativos en la materia.

En 1972, se firmó la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, promovida por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO 1972), en la que se reconoce la obligación de identificar, proteger, conservar, rehabilitar y transmitir a las generaciones futuras el patrimonio cultural y natural situado en el territorio de cada una. A partir de dicha convención, se señalan las medidas y acciones correspondientes y se crea el Comité Intergubernamental de Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural en la UNESCO.

Entre los instrumentos internacionales que tienen el objetivo de proteger la biodiversidad, es esencial el Convenio sobre la Diversidad Biológica, surgido en junio de 1992, en cuyo "Preámbulo" se establece que los Estados que lo firman están "Conscientes del valor intrínseco de la diversidad biológica y de los valores ecológicos, genéticos, sociales, económicos, científicos, educativos, culturales, recreativos y estéticos de la diversidad biológica y sus componentes" (CDB 1992). Por otra parte, en el convenio también queda establecido que "es vital prever, prevenir y atacar en su fuente las causas de reducción o pérdida de la diversidad biológica".

La importancia que éste y otros instrumentos jurídicos internacionales sobre la diversidad biológica radica en que, conforme a lo dispuesto en el artículo 133 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, al ser suscritos por el Presidente de la República y contar con aprobación del Senado, forman parte de la legislación nacional y por lo tanto su cumplimiento resulta obligatorio.

Nivel Federal

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

En México, el marco jurídico ambiental está fundamentado principalmente en el artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), que en su párrafo cuarto consagra que "Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar".

A partir de este precepto se conforman las normas que regulan las cuestiones relacionadas con el medioambiente en nuestro país. Por su parte, el artículo 25, primer párrafo, establece que "Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que sea integral y sustentable".

Otro artículo de gran trascendencia en el ámbito de la conservación ambiental es el 27, que en su tercer párrafo establece que:

> La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con el objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condi-

[1] Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de mayo de 1937.
[2] Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de mayo de 1942.

> ciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia se dictarán las medidas para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico.

Ahora bien, en su artículo 44, la CPEUM define la naturaleza jurídica de la Ciudad de México, al establecer que:

> La Ciudad de México es el Distrito Federal, sede de los Poderes de la Unión y Capital de los Estados Unidos Mexicanos. Se compondrá del territorio que actualmente tiene y en el caso de que los poderes Federales se trasladen a otro lugar, se erigirá en el Estado del Valle de México con los límites y extensión que le asigne el Congreso General.

Finalmente, en su artículo 122, la Constitución establece que el gobierno de la Ciudad de México está a cargo de los Poderes Federales y de los órganos Ejecutivo, Legislativo y Judicial de carácter local. La Base Primera del inciso C de dicho artículo establece que el Estatuto de Gobierno facultará a la Asamblea Legislativa de la entidad para expedir normas en materia de desarrollo urbano, particularmente en uso del suelo; preservación del medio ambiente y protección ecológica y protección de animales.

Leyes Federales

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

En su artículo 2º, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, SEDUE 1998) establece que la formulación y ejecución de acciones de protección y preservación de la biodiversidad del territorio nacional se consideran de utilidad pública. En este sentido, una importante aportación en la legislación nacional que hace este ordenamiento es definir la biodiversidad, al señalar que es:

> La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

La LGEEPA cumple un papel muy importante entre los diferentes ordenamientos en materia ambiental, ya que siendo una ley marco establece la distribución de competencias, como podemos observar en su artículo 4º, que señala que:

> La Federación, los Estados, la Ciudad de México y los Municipios ejercerán sus atribuciones en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta Ley y en otros ordenamientos legales.

Posteriormente, en su artículo 9º establece que corresponden al Gobierno de la Ciudad de México, en materia de preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, las facultades a las que se refieren los artículos 7º y 8º, en los que están contenidas las diferentes atribuciones con que contarán los estados y municipios, entre las que destacan: la formulación de la política ambiental local y la aplicación de sus instrumentos, el establecimiento de áreas naturales protegidas y la formulación, expedición y ejecución de los programas de ordenamiento ecológico del territorio.

Finalmente, en su artículo 203, la Ley General establece que "toda persona que contamine o deteriore el ambiente o afecte los recursos naturales o la biodiversidad, será responsable y estará obligada a reparar los daños" que ocasione, estableciéndose así el principio de

responsabilidad ambiental que es regulado por las leyes civiles.

Ley General de Vida Silvestre

En esta ley, se establece que podrá haber concurrencia entre los Municipios, los gobiernos de los estados, entre los que se halla el de la Ciudad de México, y el Gobierno Federal en materia de vida silvestre para coordinar la definición, regulación y supervisión de las acciones de conservación y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad que compone la vida silvestre y su hábitat (SEMARNAT 2000). Dicha concurrencia implica que distintas autoridades de diferentes niveles de gobierno pueden tener facultades en torno a una misma materia.

En su artículo 10, esta ley faculta a la Ciudad de México para formular y conducir la política local sobre la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre, emitir las leyes para la conservación y el aprovechamiento sustentable de la vida silvestre, regular el manejo, control y remediación de los problemas asociados a ejemplares y poblaciones ferales, así como para emitir recomendaciones a las autoridades competentes, a fin de promover el cumplimiento de la legislación en materia de conservación y aprovechamiento sustentable.

Ley de Aguas Nacionales

Esta ley tiene relación directa con la protección de la biodiversidad y los ecosistemas, ya que en su artículo 14 bis 5, señala que en el desarrollo de la política hídrica nacional se debe hacer una gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrológica, que se sustente en el uso múltiple y sustentable de las aguas y la interrelación que existe entre los recursos hídricos con el aire, el suelo, la flora, la fauna y otros recursos naturales, la biodiversidad y los ecosistemas (SARH 1992).

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

Uno de los objetivos generales de esta ley es promover la organización, capacidad operativa, integralidad y profesionalización de las instituciones (entre ellas las de la Ciudad de México) para el desarrollo forestal sustentable. Asimismo, uno de los objetivos particulares que tiene esta ley es desarrollar los bienes y servicios ambientales y proteger, mantener y aumentar la biodiversidad que brindan los recursos forestales, así como regular la protección, conservación y restauración de los ecosistemas y recursos forestales, además de la ordenación y el manejo forestal.

Posteriormente, en su artículo 13, esta ley señala que la Ciudad de México tendrá entre sus atribuciones el diseño de su política forestal, la aplicación de criterios de política forestal previstos en esta ley y en las leyes locales en la materia, así como elaborar y aplicar programas de reforestación y forestación en zonas degradadas que no sean competencia de la Federación.

Ley de Desarrollo Rural Sustentable

En esta ley se señala que el desarrollo rural sustentable consiste en mejorar las condiciones de vida fuera de los núcleos urbanos, "asegurando la conservación permanente de los recursos naturales, la biodiversidad y los servicios ambientales de dicho territorio" (SAGARPA 2001).

En su artículo 5º, queda establecido que las políticas que impulsen los gobiernos de los diferentes niveles deberán, entre otras cosas, "Fomentar la conservación de la biodiversidad y el mejoramiento de la calidad de los recursos naturales, mediante su aprovechamiento sustentable".

De especial relevancia resulta lo dispuesto en el artículo 176 de esta ley, en el que queda establecido que:

> Los núcleos agrarios, los pueblos indígenas y los propietarios podrán realizar las acciones que se admitan en los términos de la presente Ley, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley General de Vida Silvestre y de toda la normatividad aplicable sobre el uso, extracción, aprovechamiento y apropiación de la biodiversidad y los recursos genéticos.

A pesar de que la mayor parte del territorio que comprende la Ciudad de México está urbanizado, aún persiste una vasta porción conformada por suelo de conservación y porciones a las que le son aplicables las disposiciones de esta ley, por lo que su observancia resulta un factor de suma importancia para la preservación de la biodiversidad.

Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados

El objeto de esta ley consiste en regular las actividades relacionadas con organismos genéticamente modificados, a fin de prevenir, evitar o reducir los posibles riesgos que puedan ocasionar en la salud humana o al medio ambiente y a la diversidad biológica o a la sanidad animal, vegetal y acuícola (SS 2005).

En el artículo 9º de esta ley, expresamente se reconoce que México es cuna de una gran biodiversidad y por lo tanto resulta necesario proteger aquellas zonas que se consideran como "centro de origen de diversidad genética de especies y variedades que deben ser protegidas, utilizadas, potenciadas y aprovechadas sustentablemente, por ser un valioso reservorio de riqueza en moléculas y genes para el desarrollo sustentable del país".

Ley de Productos Orgánicos

Entre los objetos que tiene esta Ley, de conformidad con su artículo 1º, están los de "Promover y regular los criterios y/o requisitos para la conversión, producción, procesamiento, elaboración, preparación, acondicionamiento, almacenamiento, identificación, empaque, etiquetado, distribución, transporte, comercialización, verificación y certificación de productos producidos orgánicamente" (SAGARPA 2006).

La relación que esta ley guarda con la biodiversidad la encontramos en su artículo 38, en el que queda establecido que la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, en coordinación con las entidades federativas y municipios en el ámbito de su competencia, promoverá políticas y acciones orientadas a "Coadyuvar a la conservación de la biodiversidad y el mejoramiento de la calidad de los recursos naturales, incluidos los recursos acuáticos, mediante la aplicación de sistemas bajo métodos orgánicos".

Código Penal Federal

Este código contiene en su título vigésimo quinto, titulado "Delitos Contra el Ambiente y la Gestión Ambiental", un capítulo dedicado de forma exclusiva a la biodiversidad, en el que se señalan las diferentes multas y sanciones a las que se harán acreedores quienes atenten en contra de ésta, con penas que van de los seis meses a los 10 años de prisión (Secretaría de Gobernación 1931); entre los delitos que contempla destacan los siguientes:

«Desmontar o destruir la vegetación natural»
«Derribar o talar árboles»
«Hacer cambios de uso del suelo forestal»
«Realizar cualquier actividad con fines de tráfico, captura, posesión o transporte de especies de flora o fauna silvestres, terrestres o acuáticas en veda, considerada endémica, amenazada, en peligro de extinción, sujeta a protección especial, o regulada por algún tratado internacional»
«Introducir o liberar en el medio natural, algún ejemplar de flora o fauna exótica que perjudique a un ecosistema»
«Provocar incendios en el bosque, selva, vegetación natural o terrenos forestales»

Reglamentos de Leyes Federales y Generales

Reglamento de la LGEEPA en Materia de Áreas Naturales Protegidas

Este ordenamiento reglamenta a la LGEEPA en lo relativo al establecimiento, administración y manejo de las áreas naturales protegidas de competencia de la federación; sin embargo, en su artículo 31 señala que para el esta-

blecimiento, administración y manejo de las áreas naturales protegidas, la SEMARNAT podrá suscribir convenios de concertación o acuerdos de coordinación con los gobiernos locales, con el fin de asegurar la protección, conservación, desarrollo sustentable y restauración de los ecosistemas y su biodiversidad (SEMARNAP 2000).

Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre

En este reglamento se determinan las formalidades que deben revestir los convenios de coordinación que la Ciudad de México suscriba con la federación a efecto de asumir funciones que correspondan a ésta; ejemplo de lo anterior lo encontramos en su artículo 28, en el que se señala que la SEMARNAT podrá desarrollar e impulsar proyectos de manejo regional de la vida silvestre, con estrategias que promuevan y faciliten que el manejo y seguimiento permanente se realicen de manera conjunta por los propietarios o legítimos poseedores de predios integrados al sistema nacional de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA).

En este sentido, se busca promover que el manejo y seguimiento se realice de manera conjunta entre los titulares de las UMA y las personas autorizadas para realizar aprovechamientos sobre predios federales, de las entidades federativas o municipales, cuando se trate de especies y grupos de especies migratorias y depredadores, o de especies de gran territorio y movilidad, como puede ser el caso de aves migratorias que llegan al área lacustre de Xochimilco.

Por otra parte, en su artículo 76, este reglamento establece que la SEMARNAT en coordinación con las autoridades de los estados, o en su caso de la Ciudad de México, podrá formular y ejecutar programas de restauración para la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales de la vida silvestre; dichos programas podrán tener el carácter de nacionales, regionales o locales.

Normas Oficiales Mexicanas

Para facilitar la adecuada protección, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre, se cuenta con las normas oficiales mexicanas como instrumentos de carácter obligatorio, pero eminentemente técnico, que permiten normar con precisión las prácticas legales productivas, garantizando la conservación de la vida silvestre de nuestro país.

NOM-059-SEMARNAT-2010

Esta Norma Oficial Mexicana otorga protección a especies nativas de México de flora y fauna silvestres; en ella sobresale una lista de las especies que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo de extinción en México. Dichas categorías son: Probablemente extinta en el medio silvestre; En peligro de extinción; Amenazada, y Sujeta a protección especial. Las categorías de riesgo de extinción se definen a continuación:

Probablemente extinta en el medio silvestre: Aquella especie nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del territorio nacional han desaparecido, hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del territorio mexicano.

En peligro de extinción: Aquellas especies cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el territorio nacional han disminuido drásticamente, poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros.

Amenazadas: Aquellas especies o poblaciones de las mismas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazos, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

Cuadro 1. Listado de las principales normas oficiales mexicanas y su importancia para la protección de la biodiversidad.

Norma	Relevancia para la biodiversidad
NOM-061-SEMARNAT-1994	Establece especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en la flora y fauna silvestres por el aprovechamiento forestal.
NOM-062-SEMARNAT-1994	Establece especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad ocasionados por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios.
NOM-012-SEMARNAT-1996	Establece procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de leña para uso doméstico.
NOM-013-SEMARNAT-2010	Regula sanitariamente la importación de árboles de navidad naturales de las especies de los géneros *Pinus* y *Abies* y la especie *Pseudotsuga menziesii*.
NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007	Establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario.

Fuente: SEMARNAT 2013.

Sujetas a protección especial: Aquellas especies o poblaciones que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación, o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas.

Normatividad de la Ciudad de México

Estatuto de Gobierno[3]

En este estatuto, cuya expedición corresponde al H. Congreso de la Unión, queda establecido que la Asamblea Legislativa de la Ciudad de México tiene facultad para expedir normas sobre protección de animales, como quedó señalado en la breve exposición que se hizo sobre la CPEUM. Otra de las facultades de la Asamblea consiste en legislar en materia de planeación del desarrollo; en desarrollo urbano, particularmente en el uso del suelo, y en preservación del medio ambiente y protección ecológica. En este sentido, el artículo 118 determina que para el desarrollo y bienestar social en la ciudad deberán tomarse en cuenta, entre otras, las materias de reservas territoriales, uso de suelo y vivienda y preservación del medio ambiente y equilibrio ecológico.

Una previsión importante contenida en este estatuto la encontramos en su artículo 138, en el que se señala que entre los bienes de dominio público de la ciudad se encuentran los muebles que por su naturaleza no sean normalmente sustituibles, tal es el caso de los especímenes tipos de la flora y la fauna. Esta disposición hace referencia a las colecciones de ejemplares representativos de la biodiversidad, y en términos de lo dispuesto en el artículo señalado, son de dominio de la Ciudad de México, por lo que ésta tiene a cargo su debida conservación, ya sea con fines de exhibición, preservación, investigación, protección u otros.

Leyes

Ley Ambiental

Entre los objetos que persigue esta ley (ALDF 2000) y que se encuentran contenidos en su artículo 1º, se enuncia:

> Definir los principios mediante los cuales se habrá de formular, conducir y evaluar la política ambiental en la Ciudad de México.; conservar y restaurar el equilibrio ecológico, así como prevenir los daños al ambiente; establecer y regular las áreas verdes, áreas de valor ambiental y áreas naturales protegidas de competencia de la Ciudad de México, así como manejar y vigilar aquellas cuya administración se suma por convenio con la Federación, estados o municipios.

En su artículo 10, este ordenamiento establece como facultad para las delegaciones políticas, la de celebrar convenios con el Gobierno de la

[3] Congreso de la Unión. 1994. Estatuto de Gobierno del Distrito Federal. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada, 7 de enero de 2013.

Ciudad de México para la administración y preservación de las áreas naturales protegidas, los recursos naturales y la biodiversidad, así como proponer y opinar sobre el establecimiento de áreas de valor ambiental y áreas naturales protegidas dentro de su demarcación territorial.

El artículo 18 de esta ley, en su fracción VIII, establece "que cualquier programa, proyecto o acción que se desarrolle en la Ciudad de México deberá garantizar el mantenimiento y conservación de la biodiversidad, así como de la continuidad e integridad de los ecosistemas"; esta previsión resulta de gran relevancia, ya que obliga a que todos los programas que se generen en la ciudad consideren el mantenimiento de sus recursos biológicos y sus servicios ambientales dentro de sus preceptos.

Asimismo, la Ley Ambiental contiene preceptos destinados a la regulación del ordenamiento ecológico, constituido como un instrumento de política ambiental que tiene por objeto definir y regular los usos del suelo, en el suelo de conservación, los criterios ambientales aplicables a los usos y destinos del suelo de los programas de desarrollo urbano en los asentamientos humanos en suelo de conservación, de los recursos naturales y de las actividades productivas, para hacer compatible la conservación de la biodiversidad con el desarrollo regional.

El ordenamiento ecológico es clave para la protección de la biodiversidad existente en el territorio de la Ciudad de México, debido a que, además de que su aplicación es obligatoria, ésta permite regular las actividades de aprovechamiento pudiendo incluso prohibirlas.

En su artículo 90 bis, establece una clasificación en la ciudad para las áreas de valor ambiental en dos categorías: bosques urbanos y barrancas, considerados los primeros como las áreas verdes ambientales que se localizan en suelo urbano, en las que predominan especies de flora arbórea y arbustiva y se distribuyen otras especies de vida silvestre asociadas y representativas de la biodiversidad, así como especies introducidas. También son considerados como bosques urbanos otras zonas cuya extensión y características contribuyen a mantener la calidad del ambiente.

Finalmente, en el artículo 210 de este ordenamiento, queda establecido que la vigilancia de las actividades en áreas naturales protegidas y suelo de conservación corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, actividad que realizará a través de los vigilantes denominados ecoguardas.

Código Penal

El título vigésimo quinto de este código (ALDF 2002*a*) establece los diferentes delitos contra el ambiente y la gestión ambiental de competencia del Gobierno de la Ciudad de México y sus penas van de los tres meses a los nueve años de prisión.

Entre los delitos que contempla está la invasión de áreas de valor ambiental, la extracción de cubierta vegetal o el cambio de uso de suelo de este tipo de terrenos, así como la tala de árboles y la generación de incendios que dañen las áreas naturales protegidas, el suelo de conservación, las barrancas o las áreas verdes en suelo urbano.

Ley de Desarrollo Metropolitano

Esta ley tiene por objeto establecer los lineamientos y bases generales de la planeación estratégica para fomentar el desarrollo armónico y sustentable, así como una adecuada coordinación entre los diferentes órdenes de gobierno que interactúan en las áreas metropolitanas y su vinculación con la Zona Metropolitana del Valle de México y la Región Centro del País (ALDF 2008).

La planeación estratégica y ejecución de acciones coordinadas con la federación, estados y municipios en las zonas conurbadas limítrofes con la Ciudad de México corresponde a la Secretaría de Gobierno de la Ciudad de México.

Entre las atribuciones que tiene la Secretaría de Gobierno de la Ciudad de México está la de proponer y promover la suscripción de convenios para constituir, integrar y poner en

funcionamiento las comisiones metropolitanas que resulten necesarias, en coordinación con las dependencias y delegaciones, en las materias de desarrollo urbano, protección al ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico.

Ley de Desarrollo Urbano

En este ordenamiento se establece que el suelo de conservación estará conformado, entre otras, por las siguientes áreas de actuación:

1. Áreas de rescate ecológico;
2. Áreas de preservación ecológica;
3. Áreas de producción rural y agroindustrial;
4. Áreas de transición;
5. Áreas de conservación patrimonial,
6. Las determinadas en el Programa General de Ordenamiento Ecológico de la Ciudad de México.

El artículo 51 de esta ley determina que para la zonificación del territorio de la Ciudad de México se considerarán los siguientes usos para el suelo de conservación: turístico, de recreación, forestal, piscícola, de equipamiento rural, agrícola, pecuario, agroindustrial; así como áreas de valor ambiental y áreas naturales protegidas.

Es importante señalar que en los artículos transitorios de esta ley se establece que los programas de desarrollo urbano deberán integrar la zonificación que establece el Programa General de Ordenamiento Ecológico para el suelo de conservación y para las áreas de valor ambiental que se ubiquen en el suelo urbano (ALDF 2010).

Ley de Protección a los Animales

Las previsiones de esta ley tienen por objeto proteger a los animales, garantizar su bienestar, brindarles atención, buen trato, manutención, alojamiento, desarrollo natural, salud y evitarles el maltrato, la crueldad, el sufrimiento y la deformación de sus características físicas; asegurando la sanidad animal y la salud pública (ALDF 2002*b*).

Son objeto de tutela y protección de esta ley los animales que no constituyan plaga y que se encuentren de forma permanente o transitoria dentro del territorio de la ciudad, entre los cuales se incluye a los animales domésticos, abandonados, ferales, deportivos, adiestrados, guía, para espectáculos, para exhibición, para monta, carga y tiro, para abasto, para uso en medicina tradicional, para utilización en investigación científica, de seguridad y guarda, para animaloterapia, los silvestres y los que se encuentren en acuarios y delfinarios.

En el artículo 3º de esta ley, se establece que queda expresamente prohibida la caza y captura de cualquier especie de fauna silvestre en la ciudad; por otra parte, en su artículo 4, quedan establecidas las obligaciones que tienen los habitantes, entre las que destacan:

- Proteger a los animales, garantizar su bienestar, brindarles atención, asistencia, auxilio, buen trato, velar por su desarrollo natural, salud y evitarles el maltrato, la crueldad y el sufrimiento.
- Promover en todas las instancias públicas y privadas la cultura y la protección, atención y buen trato de los animales.

En la generación y adopción de políticas locales, se deberán tomar en cuenta criterios como el trato de los animales con dignidad y respeto, la consideración de las características propias de cada especie para su uso en diferentes labores, así como el derecho que tienen las especies silvestres de vivir libremente en su propio ambiente natural.

En el artículo 23, queda establecida la obligación que tiene toda persona de brindar un trato digno y respetuoso a cualquier animal. Por otra parte, una de las obligaciones que esta ley establece para las autoridades competentes en el ámbito de sus facultades consiste en promover, mediante programas y campañas de difusión, la cultura de protección a los animales, debiendo también promover la capacitación y actualización del personal de su jurisdicción en

el manejo de animales, así como de quienes participan en actividades de verificación y vigilancia, a través de cursos, talleres, reuniones, publicaciones y demás proyectos y acciones que contribuyan a los objetivos de esta ley.

Reglamentos de las leyes

Reglamento de la Ley Ambiental[4]

Conforme a lo establecido en el artículo 18 de este reglamento, el ordenamiento ecológico de la Ciudad de México tiene por objeto determinar las distintas zonas ecológicas, describiendo sus características físicas, bióticas y socioeconómicas, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales y de las tecnologías utilizadas por sus habitantes, regular los usos y destinos del suelo de conservación y establecer los criterios de regulación para la protección, preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

En su artículo 50, este ordenamiento establece la prohibición de realizar actividades cinegéticas o de explotación ilícita de especies de flora o fauna silvestres en las áreas naturales protegidas de competencia de la ciudad; pero en ellas podrán llevarse a cabo actividades como el manejo, restauración, protección, poblamiento, repoblamiento, control y saneamiento de especies de flora y fauna.

Las visitas de verificación administrativa necesarias para asegurar el cumplimiento de este reglamento las llevará a cabo la Secretaría del Medio Ambiente a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación o de la Comisión de Recursos Naturales, así como el personal de las delegaciones, en el ámbito de sus respectivas competencias.

Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano[5]

Este reglamento tiene por objeto, regular la planeación y programación en materia de ordenamiento territorial y el desarrollo urbano en la Ciudad de México y será la Secretaría del Medio Ambiente la que determinará, formulará, coordinará y ejecutará las acciones necesarias en la materia.

De conformidad con lo establecido en el artículo 35 de este ordenamiento, el Programa General de Desarrollo Urbano del D. F. determina la clasificación del suelo y la zonificación primaria como suelo urbano y suelo de conservación, describiendo a su vez la línea de conservación ecológica y precisando las áreas de actuación.

La aplicación y vigilancia del cumplimiento de las disposiciones de este reglamento corresponden a la Secretaría del Medio Ambiente.

Reglamento de la Ley de Protección a los Animales[6]

Este reglamento, publicado el 24 de septiembre de 2010 en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, tiene por objeto regular la protección, defensa y bienestar de los animales que se encuentren en forma permanente o temporal dentro del territorio, y su aplicación corresponde al Gobierno de la Ciudad de México, por conducto de la Secretaría del Medio Ambiente y demás autoridades ambientales competentes.

En su artículo 6º, señala que la Secretaría del Medio Ambiente, en el ejercicio y desempeño de sus facultades en materia de vida silvestre, podrá celebrar acuerdos o convenios de coordinación, de conformidad con los preceptos establecidos en la Ley General de Vida Silvestre y la LGEEPA; esta disposición hace posible que el gobierno local cuente con el apoyo de instancias federales para procurar el bienestar de los animales, para lo que previamente se deberán establecer los correspondientes compromisos de las partes en tales convenios de coordinación.

Ahora bien, el artículo 21 de este reglamento señala que las secretarías de medio ambiente,

[4] Poder Ejecutivo del Distrito Federal, 1997. Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. Publicado el 3 de diciembre de 1997.

[5] Poder Ejecutivo del Distrito Federal, 2004. Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. Publicado el 29 de enero de 2004.

[6] Poder Ejecutivo del Distrito Federal, 2010. Reglamento de la Ley de Protección a los Animales del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. Publicado el 24 de septiembre de 2010.

de salud, de seguridad pública, las delegaciones y la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la ciudad podrán suscribir convenios de concertación en materia de protección, defensa y bienestar de los animales con las Asociaciones Protectoras de Animales y Organizaciones Sociales afines, y de colaboración con instituciones académicas y de investigación. Estas deberán estar debidamente registradas en los padrones en los términos del presente ordenamiento, a fin de realizar alguna de las siguientes acciones en beneficio del desarrollo, salud y bienestar de los animales competencia de esta ley.

Normas ambientales

NADF-006-RNAT-2004

Esta norma establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas (SMA 2005).

NADF-001-RNAT-2006

Establece los requisitos y especificaciones técnicas que deberán cumplir las autoridades, empresas privadas y particulares que realicen poda, derribo, trasplante y restitución de árboles en la ciudad.

Marco institucional

En esta sección se incluye una descripción de las funciones y atribuciones de los organismos del Gobierno Federal e instituciones del Gobierno de la Ciudad de México, que se encuentran vinculados con la gestión de los recursos biológicos en la entidad.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la instancia del Gobierno Federal encargada, entre otras cosas, de fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas, recursos naturales, bienes y servicios ambientales. Lo anterior con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable, así como con el de establecer, con la participación que corresponda a otras dependencias y a las autoridades estatales y municipales, normas oficiales mexicanas sobre la preservación y restauración de la calidad del medio ambiente, sobre los ecosistemas naturales, sobre el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de la flora y fauna silvestre, terrestre y acuática y sobre el manejo del sistema hidrológico de la ciudad del valle de México.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) surge a partir de la necesidad de atender y controlar el creciente deterioro ambiental en México; por ello, el 4 de junio de 1992 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Reglamento Interior de la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), en el que surge a la vida jurídica esta procuraduría, cuya naturaleza es la de un órgano administrativo desconcentrado, con autonomía técnica y operativa.

Una de las tareas principales de la PROFEPA consiste en incrementar los niveles de observancia de la normatividad ambiental a fin de contribuir al desarrollo sustentable.

En 2009, la PROFEPA centró sus esfuerzos en la protección de los recursos naturales y la biodiversidad. El problema de extracción, acopio, tráfico y comercio ilícito de vida silvestre ha llevado a este órgano a realizar acciones punitivas para el combate del comercio ilícito de flora y fauna en mercados y tianguis de la Ciudad de México, como el mercado de Sonora, puestos ubicados alrededor del mercado Emilio Carranza y del viejo mercado de mariscos la Viga, el mercado de flores en Cuemanco, mercado Madre Selva y en el mercado conocido

como República, así como domicilios particulares que sirven como sitios de venta de vida silvestre vía internet.[7]

El año 2010, en algunos de los lugares mencionados, la PROFEPA, en coordinación con la Procuraduría General de la República, la Policía Federal y la Secretaría de Seguridad Pública de la capital del país, llevaron a cabo diversos operativos de los cuales se aseguraron 2 510 ejemplares de flora y fauna silvestres; 269 productos de vida silvestre, y se dispuso a 22 personas ante el Ministerio Público de la Federación.

Los principales lugares de acopio y venta de fauna silvestre en nuestro país se ubican en la región centro. Los grupos de especies mayormente traficados ilícitamente en México son cactáceas, reptiles y aves (Angulo-Carrera 2008).

Es importante mencionar que la estrategia para combatir el tráfico de vida silvestre es inspeccionar y vigilar todos los eslabones del comercio ilegal, es decir, tanto los sitios de extracción, acopio y transportación como los centros de venta y distribución de ejemplares de flora y fauna silvestres.

Comisión Nacional del Agua

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es un órgano desconcentrado de la SEMARNAT encargado de administrar y preservar las aguas nacionales, con la participación de la sociedad, para lograr el uso sustentable del recurso.

Entre los objetivos que persigue la CONAGUA (2013), relacionados con la conservación de la biodiversidad, se encuentran los siguientes:

- Promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos;
- Propiciar el equilibrio de las cuencas y acuíferos sobreexplotados;
- Consolidar la calidad del agua en la gestión integrada del recurso hídrico;
- Consolidar un sistema integral de medición de las diferentes componentes del ciclo hidrológico;
- Normar y promover la recarga de acuíferos;
- Reglamentar el uso del agua en las principales cuencas y acuíferos del país, y
- Promover la elaboración del inventario nacional de humedales.

Este último objetivo tiene relación directa con la gestión del agua en la Ciudad de México, siendo relictos de los humedales de la entidad los presentes en las delegaciones de Tláhuac y Xochimilco; éstos proporcionan gran variedad de bienes, servicios y funciones, al ser hábitat de diferentes especies de flora y fauna, a la vez que proporcionan agua y recursos para los habitantes de la ciudad. Dichos ecosistemas también propician la recarga de los mantos freáticos, protegen contra fenómenos naturales y estabilizan el microclima local.

Asimismo, la CONAGUA sólo reconoce un río en la Ciudad de México: el río Magdalena, que como se señaló, aún no ha sido entubado, por lo que desempeña funciones naturales como proveedor de agua dulce, sirve de hábitat para diversos grupos de organismos, regulación climática, control de inundaciones y contribuye en la recarga de acuíferos.

La conservación de los humedales no sólo depende del agua, sino de la interacción atmósfera-agua-suelo y la biodiversidad que en ellos habita, por lo que las acciones que lleve a cabo esta Comisión para su protección, deberán estar coordinadas con otros organismos. Entre las acciones que la CONAGUA ha emprendido para proteger este tipo de ecosistemas destacan las siguientes: análisis de cuencas hidrológicas prioritarias para la atención de humedales, elaboración de la Norma Oficial Mexicana para la determinación del caudal ecológico[8] y el inventario nacional de humedales. Con estas acciones y medidas se busca preservar, hacer un uso sustentable de los humedales y aprovechar todo su potencial en beneficio de la población, la biodiversidad y el desarrollo del país.

[7] Gaceta Parlamentaria Núm. 3216-VII, 8 de marzo de 2011.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) se creó en el año 2000 como órgano desconcentrado de la SEMARNAT, con el objetivo de conservar los ecosistemas más representativos del país y su biodiversidad con la participación de todos los sectores. Esta instancia formula, promueve, dirige, gestiona y supervisa programas y proyectos en áreas protegidas en materia de protección, manejo y restauración para la conservación.

A partir del año 2001, se ampliaron las responsabilidades de la comisión, al integrarse el Programa de Desarrollo Regional Sustentable, con el propósito de reducir la pobreza y la marginación. El turismo en áreas protegidas se ha promovido como una de las herramientas de desarrollo sustentable y de sensibilización y cultura para la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad.

Actualmente existen un total de 10 áreas naturales protegidas (ANP) de carácter federal en el territorio de la Ciudad de México, de las cuales nueve se encuentran bajo la categoría de Parque Nacional, mientras que la restante es un Área de Protección de Flora y Fauna (CONANP 2013). Asimismo, existen 12 ANP creadas mediante declaratorias locales. En conjunto, forman 20 sitios con ecosistemas representativos o de especies en riesgo o que otorgan diferentes servicios ambientales, debido a que el cerro de la Estrella es un ANP que se ha decretado como tal tanto por declaratorias locales como federales (FEDAPUR 2013).

Actualmente se encuentra en proceso de establecimiento el Sistema de Áreas Naturales Protegidas (SIANAP) de la Ciudad de México, el cual se constituirá como la instancia rectora que permitirá conjuntar, organizar y controlar todas las acciones administrativas y técnicas para la planificación y realización de programas orientados a la conservación, manejo y administración de las ANP de la entidad. De acuerdo con el Plan Verde de la Ciudad de México (SMA 2013), se considera necesario consolidar este sistema, dotando a cada una de las 22 ANP existentes (FEDAPUR 2013) de un Plan de Manejo para su conservación.

El interés de la CONANP por conservar la biodiversidad en la Ciudad de México se hace patente con acciones de concertación, como la firma de un convenio con la Universidad Autónoma Metropolitana el 5 de noviembre de 2010, en el que se prevé el desarrollo de programas conjuntos de investigación, uso de información científica y técnica, así como organización de eventos de extensión académica en diversos campos del conocimiento científico tendientes a fomentar la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad de las ANP.

En este convenio se establece que para su instrumentación se desarrollarán acciones que promuevan el conocimiento de las ANP entre la comunidad de las diversas disciplinas científicas y se recibirá apoyo de la academia en el monitoreo biológico de especies, de ecosistemas o ambiental en dichas regiones, entre otras acciones.

Comisión Nacional Forestal

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), creada por decreto presidencial el 4 de abril del 2001, es un organismo público descentralizado cuyo objetivo es desarrollar, favorecer e impulsar las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de los planes, programas y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable.

La CONAFOR ha generado estrategias relacionadas con la protección de la biodiversidad. Entre ellas destaca el Proyecto de Servicios Ambientales del Bosque (PSAB), con el objetivo principal incrementar y mejorar los servicios ambientales forestales que ofrecen beneficios locales, principalmente los relacionados con los servicios hidrológi-

[8] Cantidad, calidad y régimen de variación del flujo necesario del agua, para estar en posibilidades de mantener las condiciones idóneas para la salud de los ecosistemas acuáticos en cada cauce y acuífero del país.

Cuadro 2. Áreas naturales protegidas y sus categorías.

	Nombre	Categoría
ANP federales	Cumbres del Ajusco	Parque Nacional
	Desierto de los Leones	Parque Nacional
	Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	Parque Nacional
	Cerro de la Estrella	Parque Nacional
	El Tepeyac	Parque Nacional
	Fuentes Brotantes de Tlalpan	Parque Nacional
	Lomas de Padierna	Parque Nacional
	El Histórico Coyoacán	Parque Nacional
	El Tepozteco	Parque Nacional
	Corredor Biológico Chichinautzin	Área de Protección de Flora y Fauna
ANP locales	Parque Ecológico de la Ciudad de México.	Zonas Sujetas a Conservación Ecológica
	Bosques de las Lomas.	Zonas Sujetas a Conservación Ecológica
	Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.	Zonas Sujetas a Conservación Ecológica
	Sierra de Guadalupe	Zonas Sujetas a Conservación Ecológica
	Sierra de Santa Catarina	Zonas Sujetas a Conservación Ecológica
	Ecoguardas.	Zonas de Conservación Ecológica
	La Armella	Zonas de Conservación Ecológica
	Bosque de Tlalpan	Parque Urbano
	Cerro de la Estrella	Zona Ecológica y Cultural
	San Nicolás Totolapan	Reservas Ecológicas Comunitarias
	San Miguel Topilejo	Reservas Ecológicas Comunitarias
	Los Encinos	Zona de Protección Hidrológica y Ecológica

Fuente: FEDAPUR 2013.

cos, y globales, principalmente relacionados con la conservación de la biodiversidad y el secuestro y almacenamiento de carbono (SMA-GEM 2010). Este proyecto ha sido establecido con la asistencia técnica y el apoyo financiero del Banco Mundial y el Fondo Mundial para el Medio Ambiente Global (GEF, por sus siglas en inglés; SEMARNAT 2009).

El objetivo de la propuesta para el GEF es promover la conservación de ecosistemas clave para la protección de la biodiversidad con importancia global.

En el marco de este proyecto, la CONAFOR ha instrumentado el Fondo Patrimonial de Biodiversidad, con un capital semilla[9] de 130 millones de pesos para promover una capitalización que se estima en 200 millones de dólares, que generarán intereses con los que se realizarán pagos a quienes conserven biodiversidad cuya ubicación e importancia tenga repercusión global evidente.[10]

Actualmente, se realizan estudios para hacer pagos diferenciados que permitan compensar el costo de oportunidad en que incurren los dueños de terrenos forestales al evitar la deforestación o degradación forestal originada por la agricultura y la ganadería, así como para mejorar el aprovechamiento forestal maderable.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) tiene por

[9] Cantidad de dinero necesaria para implementar una empresa y financiar actividades claves en el proceso de iniciación y puesta en marcha. El capital es aportado por terceros.
[10] Lineamientos de Operación del Fondo Patrimonial de Biodiversidad.

objeto promover, coordinar, apoyar y realizar actividades encaminadas a profundizar en el conocimiento de la diversidad biológica nacional, así como a promover su conservación y uso sustentable en beneficio de la sociedad. La CONABIO fue concebida como una organización de investigación aplicada, promotora de investigación básica, encargada del desarrollo de capacidades humanas en el área de informática de la biodiversidad, que compila y genera información sobre biodiversidad y que a la vez se constituye como fuente pública de información y conocimiento en la materia.

La CONABIO genera inteligencia sobre nuestro capital natural; funge como puente entre la academia, el gobierno y la sociedad, a la vez que promueve la participación activa de las poblaciones locales como actores centrales en la conservación y manejo de la biodiversidad.

Entre las funciones principales que desempeña esta Comisión está la de instrumentar y operar el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), facultad que se desprende de lo dispuesto en la fracción V del artículo 80 de la LGEEPA, para brindar datos, información y asesoría a diversos usuarios, para instrumentar las redes de información nacionales y mundiales sobre biodiversidad, así como para dar cumplimiento a los compromisos internacionales adquiridos por México en materia de biodiversidad y llevar a cabo acciones orientadas a la adecuada conservación y uso de la biodiversidad de México de forma sustentable.

Secretaría de Desarrollo Social

La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) tiene entre otras atribuciones la de proyectar la distribución de la población y la ordenación territorial de los centros de población, conjuntamente con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal que corresponda, así como coordinar las acciones que el Ejecutivo Federal convenga con los Ejecutivos Estatales para la realización de acciones coincidentes en esta materia con la participación de los sectores social y privado. Igualmente, tiene la atribución de prever a nivel nacional las necesidades de tierra para desarrollo urbano y vivienda, considerando la disponibilidad de agua, y de regular, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, los mecanismos para satisfacer dichas necesidades. Además tiene la función de elaborar, apoyar y ejecutar programas para satisfacer las necesidades de suelo urbano y el establecimiento de provisiones y reservas territoriales para el adecuado desarrollo de los centros de población.

Organismos del Gobierno de la Ciudad de México relacionados con la gestión ambiental

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México

La Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) es la entidad del Gobierno de la Ciudad de México encargada de establecer las políticas a las que debe sujetarse la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección del ambiente en la entidad. Esta secretaría además tiene a su cargo la función de establecer lineamientos generales y coordinar las acciones en materia de protección, conservación y restauración de los recursos naturales, flora, fauna, agua, aire, suelo, áreas naturales protegidas y zonas de amortiguamiento, así como formular, conducir y ejecutar las políticas relativas a la flora y fauna silvestres que correspondan al ámbito de competencia de la ciudad. Finalmente, otra de las funciones que cumple la SMA consiste en administrar, coordinar y supervisar la operación y funcionamiento de los zoológicos como centros de conservación, preservación y exhibición de flora y fauna, con fines de investigación, educación, recreación y esparcimiento para la población.

Comisión de Recursos Naturales

Esta comisión, dependiente de la Secretaría del Medio Ambiente, tiene establecidas sus atribuciones en el artículo 56 Ter del Reglamento In-

terior de la Administración Pública del la Ciudad de México, entre las que sobresalen:

- Formulación y conducción de las políticas y programas para el desarrollo de los zoológicos y unidades de manejo de vida silvestre a cargo del Gobierno del la Ciudad de México, así como ejercitar las atribuciones que transfiera la federación en materia de vida silvestre.
- Administración, coordinación, supervisión y operación de los zoológicos y otras unidades de manejo de vida silvestre.
- Definición, promoción y ejecución de programas de investigación, reproducción, rescate, conservación de la flora y fauna silvestres relativas al funcionamiento de los zoológicos y unidades de manejo de vida silvestre.
- Celebración de los instrumentos jurídicos necesarios para el desarrollo de los zoológicos a su cargo.
- Elaboración y coordinación de la ejecución del Programa para la Conservación y Manejo de la Vida Silvestre.
- Formulación y conducción de la política local sobre la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre.

La comisión, cuyo acrónimo es CORENA, cuenta con cuatro Centros Regionales, localizados dentro del suelo de conservación de la Ciudad de México, en los que atienden y ejecutan sus atribuciones.

Las actividades de esta Comisión están enfocadas en la protección, restauración, conservación y mejoramiento de los recursos naturales, mediante el diseño y la aplicación de instrumentos de política ambiental con apego al ordenamiento ecológico, a fin de procurar mejores usos del suelo y un mejor desempeño de las actividades productivas que se llevan a cabo en el suelo de conservación de la ciudad.

Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre

Atendiendo a los planteamientos del eje 6 del Programa General de Desarrollo del Distrito Federal 2007-2012 (SMA-GDF 2007), correspondiente a Desarrollo Sustentable y de Largo Plazo, y apoyando el objetivo de consolidar a la ciudad como un centro ambiental y de conservación de flora y fauna silvestre, la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre ha asumido el compromiso de promover la conservación integrada de la biodiversidad, en especial la referente a la fauna silvestre.

Esta unidad administrativa se encarga de la planeación, organización y coordinación de las actividades que desarrollan en los zoológicos de Chapultepec, San Juan de Aragón, Los Coyotes y demás áreas, de dirigir y coordinar el trabajo de servicios, de la relación con otras dependencias de gobierno, de asesorar técnicamente en asuntos de vida silvestre a otras dependencias del propio gobierno de la Ciudad de México y de promover y realizar convenios con instituciones académicas, de investigación y zoológicos para apoyar los esfuerzos de conservación, investigación y educación que en ellos se realizan.

Dirección Ejecutiva de Vigilancia Ambiental

Esta entidad tiene entre otras tareas la de realizar la planeación estratégica y operativa de la inspección y vigilancia de las fuentes de contaminación ambiental, así como de los recursos naturales de la ciudad. Igualmente, se le atribuye la función de vigilar y aplicar, en el ámbito de su competencia, la observancia de las normas oficiales mexicanas en materia de medio ambiente y recursos naturales, así como de las normas ambientales de la ciudad y el cumplimiento de las disposiciones jurídicas y administrativas aplicables en materia de inspección ambiental. También le corresponde imponer las sanciones administrativas y medidas de seguridad que procedan, así como la de supervisar y vigilar las actividades de poda, trasplante y derribo de árboles en suelo urbano, además de los trabajos de imagen urbana y mantenimiento de las áreas verdes y demás recursos localizados en la red primaria de la ciudad, en

las alamedas y parques que, por su belleza, valor cultural y ambiental, requieren de cuidado y protección especial.

Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental

Entre sus atribuciones, esta entidad tiene las de conservar, administrar y regular el uso, aprovechamiento, explotación y restauración de los recursos naturales e infraestructura de las áreas de valor ambiental, áreas verdes urbanas de la ciudad y ciclovías en suelo urbano. Formular y aplicar el programa de manejo de las áreas de valor ambiental y áreas verdes urbanas con criterios de sustentabilidad. Administrar los ingresos que se perciban en las áreas de valor ambiental, áreas verdes urbanas, Museo de Historia Natural, Centros de Educación y de Cultura Ambiental, viveros y ciclovías en suelo urbano. Emitir los lineamientos para acciones de plantación, poda, derribo y trasplante de especies vegetales de las áreas de valor ambiental y de áreas verdes urbanas.

Sistema de Aguas de la Ciudad de México

Este organismo público descentralizado se encuentra sectorizado a la Secretaría del Medio Ambiente de la ciudad. Fue creado con la finalidad de generar mecanismos adecuados que permitan lograr una eficiente distribución de los servicios hidráulicos.

El actuar de este organismo está determinado por la Ley de Aguas, en la que se plantea que los servicios hidráulicos a cargo de las autoridades no podrán prestarse a quienes habiten en asentamientos humanos irregulares en el suelo de conservación. Este precepto es importante ya que constituye un freno ante la creciente ocupación ilegal de terrenos dentro del suelo de conservación, en detrimento de los recursos naturales y de la biodiversidad presente en ellos.

Otras de las facultades de este organismo están establecidas en el artículo 199 del Reglamento Interior de la Administración Pública; de ellas se destaca el dar cumplimiento a las disposiciones que en materia de recursos hidráulicos y protección ambiental le confiere la señalada Ley de Aguas de la ciudad.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) es la dependencia responsable de generar e implementar políticas y estrategias necesarias para guiar las dinámicas urbanas, además de fincar las bases para el ordenamiento del territorio de manera equitativa, sostenible e incluyente. Tiene como objetivo impulsar el desarrollo competitivo de la ciudad y fomentar proyectos de impacto social que garanticen un desarrollo urbano sustentable de la Ciudad de México en coordinación con la Zona Metropolitana y la región centro del país.

Sus acciones están enfocadas en transformar la Ciudad de México en un gran espacio de integración social, capaz de brindar una mejor calidad de vida a sus habitantes y a las generaciones futuras mediante el rescate del espacio público.

Las políticas urbanas van encaminadas a la construcción de la ciudad incluyente, extrovertida y segura que apuesta por:

1. Recuperar el uso del espacio público.
2. Orientar y dirigir el crecimiento de la ciudad.
3. Apostar por la ciudad compacta como modelo de ocupación territorial.
4. Agilizar los procesos de planeación y gestión de la Ciudad de México.
5. Proteger y conservar la imagen y el paisaje urbano de la Ciudad de México.
6. Promover la construcción de vivienda social.
7. Posicionar a la Ciudad de México a nivel metropolitano, regional, nacional e internacional.
8. Reactivar zonas en desuso para impulsar el desarrollo, la generación de empleo y el fomento a la inversión.
9. Perfeccionar los sistemas de información para mejorar la atención a la ciudadanía.

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial

La Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) es un organismo público descentralizado de la Administración Pública de la Ciudad de México que tiene como misión el velar por la defensa de los derechos de sus habitantes a disfrutar de un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar, mediante la promoción y vigilancia del cumplimiento de las disposiciones jurídicas en materia ambiental y del ordenamiento territorial. Las atribuciones de esta procuraduría se desprenden de su ley orgánica; entre ellas, sobresale la de conocer e investigar sobre actos, hechos u omisiones que constituyan violaciones a la legislación en materia ambiental y del ordenamiento territorial.

La PAOT está comprometida a promover un nuevo orden urbano y ambiental equitativo, responsable y sustentable; mejorar el acceso a la justicia ambiental en la ciudad y generar impactos efectivos en la protección, defensa y restauración del medio ambiente y el desarrollo urbano.

La organización y funcionamiento de esta Procuraduría está orientada fundamentalmente a la vigilancia del cumplimiento de la normatividad ambiental y del ordenamiento territorial desde la perspectiva de un ombudsman, cuyas resoluciones dan cuenta del cumplimiento o no de dicha normatividad o de su falta de aplicación, tanto por autoridades como por particulares. Las resoluciones que emite no obligan a las partes involucradas a cumplirlas.

Fiscalía Desconcentrada de Investigación en Delitos Ambientales y en Materia de Protección Urbana de la Procuraduría General de Justicia

Las atribuciones de esta fiscalía están contenidas en el Reglamento Interior de la Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México, en cuyo artículo 62 se establece que podrá supervisar que la recepción de las denuncias o querellas por hechos posiblemente constitutivos de delitos materia de su competencia sean debidamente atendidas.

Esta fiscalía se dedica a la persecución de los delitos contra el ambiente previstos en el Código Penal para la Ciudad de México, que protegen primordialmente el suelo de conservación, las áreas naturales protegidas, las áreas de valor ambiental, las áreas verdes en suelo urbano y las barrancas.

Entre los delitos ambientales se considera la invasión u ocupación, así como la extracción de suelo o cubierta vegetal en cualquiera de estos lugares; así también, este órgano persigue a quienes causen incendios en estos lugares y a quienes derriben, talen o maten árboles en éstos y otros sitios del territorio de la Ciudad de México.

Las penas que puede imponer esta fiscalía por la comisión de alguno de los delitos ambientales señalados en el Código Penal van de los tres meses a los 13 años y medio, que es la pena más alta y se aplica cuando se invade u ocupa violentamente o se incita a la ocupación o invasión de cualquiera de los elementos listados.

Al aplicar sanciones del tipo penal, el órgano ejerce una doble función, ya que no sólo sanciona, sino que inhibe la posible comisión de conductas delictivas al hacerse públicas las sanciones a las que se han hecho acreedores los individuos procesados por cometer este tipo de delitos, lo que redunda en una mayor protección de los elementos naturales y de la biodiversidad en el territorio de la entidad.

Delegaciones

La administración pública de la Ciudad de México cuenta con órganos político-administrativos desconcentrados en cada demarcación territorial, con autonomía funcional en acciones de gobierno, a los que genéricamente se les denomina delegaciones y entre cuyas atribuciones se encuentran las siguientes: expedir, en coordinación con el Registro de los Planes y Programas de Desarrollo Urbano, las certificaciones de uso del suelo en los términos de las disposiciones jurídicas aplicables; proponer la adquisición de reservas territoriales necesarias

para el desarrollo urbano de su territorio; implementar acciones de preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente desde su demarcación territorial, de conformidad con la normatividad ambiental; vigilar y verificar administrativamente el cumplimiento de las disposiciones en materia ambiental, así como aplicar las sanciones que correspondan cuando se trate de actividades o establecimientos cuya vigilancia no corresponda a las dependencias centrales, de conformidad con la normatividad ambiental aplicable; difundir los programas y estrategias relacionados con la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, en coordinación con la Secretaría del Medio Ambiente; promover la educación y participación comunitaria, social y privada para la preservación y restauración de los recursos naturales y la protección al ambiente.

Resulta evidente que para que se puedan aplicar con eficacia y eficiencia las disposiciones del marco legal, es necesario contar con autoridades especializadas, que tengan pleno conocimiento acerca de sus funciones específicas, las cuales deberán ser hechas valer por funcionarios públicos capacitados. Aunado a lo anterior y debido a la complejidad que importa la protección del medio ambiente y los recursos naturales, es necesario que las diferentes autoridades que intervienen en la aplicación de esta normatividad estén coordinadas y que la suma de sus acciones se vea reflejada en un mejor desempeño de sus funciones y en una efectiva protección de la biodiversidad.

Organizaciones de la Sociedad Civil

Entre los actores de las organizaciones de la sociedad civil que intervienen en la protección de la biodiversidad en la ciudad, encontramos diversas agrupaciones dedicadas a la difusión del conocimiento de temas de índole ambiental y a la generación de conciencia respecto a la importancia de la preservación del medio ambiente.

En este apartado serán enunciadas algunas de las organizaciones más representativas en el ámbito de la protección al medio ambiente, con cuyas acciones se apoya la protección de los recursos naturales, algunas de las cuales cuentan con programas de educación y capacitación tendientes a la formación de individuos y servidores públicos con conocimiento de la materia ambiental.

Naturalia

Es una organización civil sin fines de lucro fundada en 1990, cuyo objeto consiste en promover la conservación de los ecosistemas y especies silvestres en México a través de la divulgación, la educación ambiental y el desarrollo de actividades en campo, cuya misión es crear, planear y desarrollar todo tipo de proyectos e iniciativas que ayuden a conservar la fauna, la flora y los ecosistemas mexicanos, poniendo especial énfasis en aquellas especies que se encuentran en peligro de desaparecer.

Esta asociación contribuye al fomento de la cultura ambiental en la sociedad mexicana, creando conciencia de la importancia que tiene nuestro patrimonio natural y la necesidad de involucrarnos activamente para asegurar su conservación, actividades que inciden directamente en la protección de la biodiversidad.

ProNatura

Organización no gubernamental sin objeto de lucro creada en 1981 cuya misión es la conservación de la flora, la fauna y los ecosistemas prioritarios, promoviendo un desarrollo de la sociedad en armonía con la naturaleza.

A partir de la representación central de esta organización, se han constituido las representaciones regionales y estatales que conforman el Sistema Nacional ProNatura, cuyas estrategias y acciones están orientadas a lograr la conservación y el desarrollo sostenible de regiones y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad del país. Las áreas que primordialmente atiende esta organización son cambio climático, conservación de tierras privadas y sociales, agua, fondos verdes y especies prioritarias.

AnimaNaturalis

Organización no gubernamental de carácter internacional fundada en marzo de 2003, con sede virtual en México. Esta organización busca establecer, difundir y proteger los derechos de todos los animales en Iberoamérica. En este sentido, los derechos que esta organización reconoce a los animales son: el derecho a la vida, a la libertad, a no ser torturados y a dejar de ser considerados propiedad.

La organización intenta ser la herramienta más eficaz, efectiva y eficiente para establecer el tema de los derechos de los animales y promover alternativas al uso que de ellos se hace en granjas, laboratorios, industrias del entretenimiento y vestimenta, centrando su trabajo en la educación e información a la sociedad a través de los diferentes medios a su alcance.

Centro Mexicano de Derecho Ambiental A.C.

El Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA) es una organización no gubernamental fundada en agosto de 1993, sin filiación política ni fines de lucro, que busca contribuir a la coordinación y unión de esfuerzos nacionales para la defensa del medio ambiente y los recursos naturales, a través del fortalecimiento, consolidación, armonización, aplicación y cumplimiento efectivo del sistema jurídico-ambiental vigente.

El CEMDA tiene la misión de contribuir al desarrollo, aplicación y cumplimiento del derecho en materia ambiental, a fin de conservar y proteger el ambiente, en pro de la sostenibilidad, con la visión de lograr un mundo justo y en armonía con la naturaleza y con el objetivo de generar influencia, impacto e incidencia con efectividad en la gestión ambiental con un enfoque participativo.

Entre las principales acciones que desempeña esta organización está la protección de los derechos ambientales de los ciudadanos por la vía contenciosa, lo que implica que acceden al sistema de justicia nacional, ya sea federal o local, con el fin de proveer a la protección de los recursos naturales.

Centro de Estudios Jurídicos y Ambientales A.C.

El Centro de Estudios Jurídicos y Ambientales (CEJA) es una institución no gubernamental fundada en diciembre de 2003 que se dedica al estudio, fortalecimiento y difusión del derecho ambiental y de su eficaz aplicación. El CEJA, a través de sus programas de estudio y análisis, educación y capacitación y comunicación y difusión, busca contribuir a la formación de una sociedad cada vez más y mejor formada e informada sobre la importancia de implementar en nuestro país una gestión ambiental exitosa, que nos permita avanzar en el desarrollo económico y social de forma sustentable, promoviendo el aprovechamiento equilibrado de los recursos naturales y del medio ambiente en general.

El CEJA ha participado en la elaboración de diversas propuestas de iniciativas de ley y de reglamentos para los tres órdenes de gobierno, ha diseñado e impartido docenas de diplomados y cursos en materia ambiental y cuenta con diversos órganos de difusión y divulgación de la cultura jurídico-ambiental, sobresaliendo entre ellos la revista Derecho Ambiental y Ecología, en la que cada bimestre son expuestos temas de gran relevancia nacional e incluso internacional en materia de protección del medio ambiente en el ámbito técnico-jurídico.

Cultura Ecológica

Cultura Ecológica A.C. es una organización no lucrativa, creada el 5 de agosto de 1986 en la Ciudad de México por un grupo interdisciplinario de profesionales comprometidos con la causa ambiental nacional. Desde su creación, ha enfocado sus esfuerzos en la promoción de una mayor conciencia ambiental en la sociedad mexicana.

Esta organización busca contribuir con la formación de un país mejor informado sobre sus asuntos ambientales, así como fomentar una participación social responsable en la toma de

decisiones sobre los recursos naturales de México, considerando que ambos elementos, la información y la participación, son indispensables en la construcción del desarrollo sostenible.

La gestión de esta organización ha estado orientada hacia la compilación y difusión del marco jurídico ambiental local, nacional e internacional, desarrollando bases de datos como sistemas pioneros de información ambiental en el país.

Colectivo por la Transparencia

Colectivo por la Transparencia es un grupo de diferentes organizaciones que surgió a finales del año 2002 como un espacio de reflexión y acción, con el compromiso de contribuir a la construcción de prácticas responsables y abiertas en las organizaciones públicas, privadas y sociales, así como de una ciudadanía participativa que ejerza su derecho a la información y exija transparencia y rendición de cuentas.

Las organizaciones que lo conforman son: Alianza Cívica; Artículo 19; Centro Mexicano de Derecho Ambiental; Ciudadanos en Medios Democracia e Información; Cultura Ecológica; DECA, Equipo Pueblo; Fundar, Centro de Análisis e Investigación; Gestión Social y Cooperación (GESOC); Contraloría Ciudadana para la Rendición de Cuentas; Presencia Ciudadana Mexicana, y Sonora Ciudadana.

Cada una de estas organizaciones tiene en sus agendas el compromiso con los temas de la transparencia y el derecho al acceso a la información y, al contar con experiencia en el desarrollo de proyectos y acciones diversas dentro de estos campos, contribuyen de manera particular al cumplimiento de los objetivos del Colectivo.

Política Pública

Breve historia de la gestión ambiental

La historia de la gestión ambiental en la ciudad, así como su institucionalización, está íntimamente ligada a las transformaciones en el campo de la gestión pública que han tenido lugar en esta entidad en los últimos 30 años.

Hasta 1997, la Ciudad de México y su aparato de gobierno dependían directamente del Gobierno Federal; así, el nombre de "Departamento del Distrito Federal" (DDF) ligaba explícitamente a esta dependencia estructural del gobierno local a las instancias federales. El propio titular del DDF, el regente, era designado y removido por el presidente de la república.

En relación con la gestión ambiental durante todo el periodo previo a 1997, la política ambiental de la ciudad estuvo directamente ligada y determinada por el Gobierno Federal y por los programas y prioridades que de ahí se desprendían; aunque, justo es decirlo, se diseñaron y pusieron en marcha políticas ambientales específicas para la ciudad tomando en cuenta las particularidades de su problemática ambiental (Ojeda-Mestre 2010). Como ya se ha mencionado en este texto, la transformación del entorno natural de la cuenca de México, debido a la intensa urbanización que se dio de manera aguda a partir de los años cuarenta del siglo pasado, derivó en la generación de fenómenos ambientales severos, tal vez los más agudos del país.

Tal y como ocurrió en otras partes del mundo, durante la segunda mitad del siglo pasado, el tema de la degradación ambiental y la problemática resultante de ella emerge de manera más clara y visible con la contaminación atmosférica, en particular la contaminación del aire respirable. La evidente presencia de espesas capas de sustancias en el aire y los problemas de salud que comenzaron a presentarse como resultado de la exposición a los contaminantes llevaron a que la agenda ambiental de los gobiernos y las instituciones creadas para la gestión ambiental se centraran de manera prioritaria en atender este problema.

Fue así como en México, la primera respuesta directa de organización gubernamental federal para enfrentar problemas ambientales fue la conformación, en 1972, de la Subsecretaría para el Mejoramiento del Ambiente,

dependiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. Desde entonces y hasta 1982, año en que se crea la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), la institucionalidad pública federal, y por lo tanto para la Ciudad de México, se mantuvo de esa forma. Durante la gestión del regente Ramón Aguirre (1982-1988), existía una Dirección de Área de Ecología y Desarrollo Urbano, que durante el mismo periodo evolucionó a la Dirección General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica (Quadri de la Torre 2016).

Para la segunda mitad de los años ochenta, en la ciudad el problema de la contaminación del aire había adquirido niveles muy altos, preocupantes desde el punto de vista de la salud pública y había adquirido también conflicto y prioridad políticos. La opinión pública y las propias organizaciones ciudadanas agudizaron la presión al gobierno para la atención de este tema y se comenzaron a dar las primeras respuestas. La emergencia de las organizaciones sociales y de la problemática ambiental de la ciudad se vio también potenciada después del terremoto de 1985, año de quiebre en la gestión pública de la Ciudad de México.

Así, en el año de 1984 arranca desde el DDF el primer programa con orientación ambiental para la entidad, al cual se le denominó Programa de Reordenamiento Urbano y Protección Ecológica (PRUPE), desechado en consulta pública y sustituido por el Programa General de Desarrollo Urbano. Dichos programas básicamente estaban orientados a atender de manera regulada el desarrollo y reconstrucción de la ciudad y a proponer medidas de mitigación de la degradación ambiental, prioritariamente la contaminación del aire.

A la par de esas medidas gubernamentales, en el año de 1986 surge una iniciativa ciudadana orientada a atacar la contaminación atmosférica. Dicha iniciativa se denominó "Un día sin auto", y consistía en que de manera voluntaria los propietarios de autos privados dejaran de utilizar por un día a la semana su automóvil, difundiendo su adhesión al programa y el día que dejaban de circular con una calcomanía en el propio auto. Para 1989, este programa de origen ciudadano se convirtió en el oficial "Hoy no circula", diseñado, vigilado y sancionado por la propia autoridad local, el cual es permanente desde 1990.

Durante todo el periodo comprendido entre 1988 y 1997, las prioridades de atención de los temas ambientales en la ciudad estuvieron centradas básicamente en el control de la contaminación ambiental y en la contención del avance de la mancha urbana sobre las zonas de la entidad con características rurales y de relativamente buen estado de conservación. Fue en este marco que, en 1992, después de varios decretos y programas de manejo de la zona, se publica en la Gaceta Oficial de la entidad la declaratoria del Área de Preservación Ecológica conocida como "Suelo de Conservación", que alberga a la mayor parte de la gran riqueza biológica de la entidad (SMA 2011).

En este mismo año, se crea una instancia de coordinación metropolitana denominada Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental que, posteriormente, en 1996, se convertiría en la actual Comisión Ambiental Metropolitana (CAM). En este organismo confluyen entidades del Gobierno Federal, del Estado de México y de la Ciudad de México, con el propósito de instrumentar políticas y proyectos de mejoramiento ambiental de la Zona Metropolitana de la ciudad, que es un espacio compartido por las dos entidades mencionadas.

En el mismo periodo, y durante la gestión de Manuel Camacho Solís como regente de la entidad, la institucionalidad pública se consolidó y robusteció, de tal manera que después de la fusión de diversas áreas ambientales del gobierno local, se forma la Coordinación General de Protección Ecológica, con un rango superior al de Dirección General. Los temas de la agenda de esta Coordinación General eran principalmente los de calidad del aire y las políticas públicas y programas técnicos relacionados con ese tema. La agenda de la zona rural de la Ciudad de México corría a cargo de la Comisión Coordinadora del Desarrollo Rural (COCODER), la

cual después, en 1997, cambiaría a Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENA) (Sheinbaum 2008).

De 1994 a 1997 se da la gestión del último regente. Durante estos años, la Coordinación General de Protección Ecológica se transforma en la Secretaría del Medio Ambiente (antes SMA ahora SEDEMA), siendo el doctor Eduardo Palazuelos su primer titular. De entonces a la fecha, la institución gubernamental local encargada de la política ambiental es la SEDEMA, que con el paso de los años se ha ido robusteciendo internamente, en sus atribuciones y funciones, a la par de que va resaltando temas ambientales relevantes que repercuten en las atribuciones de otras instancias de gobierno, las cuales han reorientado su gestión desde una perspectiva ambiental, como es el caso del transporte de la ciudad, en particular el transporte público, el manejo de residuos sólidos, el desarrollo urbano y el tipo de vivienda que se fomenta y en general las obras públicas de la Ciudad de México.

En 1999, durante la gestión del primer gobierno electo en la entidad, se diseñó la estructura que conformaría a la SEDEMA hasta el año 2002. Durante este sexenio, dicha secretaría tendría las siguientes funciones: política de la calidad del aire, inspección y vigilancia ambientales, investigación, educación ambiental e integración de políticas y, como resultado de la fusión de la COCODER y la Dirección General de Desarrollo Rural (antes en la Secretaría de Desarrollo Económico), la política de desarrollo rural y conservación de recursos naturales. Estas funciones se establecieron en las diversas direcciones generales y de área ya mencionadas en el presente texto.

Al inicio de la gestión del periodo 2000-2006, a las funciones arriba mencionadas se suma a la SEDEMA la responsabilidad de la gestión de los bosques urbanos, la reforestación urbana y el manejo del Museo de Historia Natural, funciones que se integran en una nueva Dirección General junto con educación ambiental.

En el año 2002, la Dirección General de Zoológicos, anteriormente localizada en la Secretaría de Desarrollo Social, pasa también a formar parte de la SEDEMA y se transforma en la Dirección General de Zoológicos y Vida Silvestre, al incorporarse a ella en el 2007 una atribución adicional a la del manejo de los zoológicos de la ciudad: el conocimiento y la conservación de la biodiversidad de la entidad. En el 2002, se publicó el decreto por el cual se crea el Sistema de Aguas como un organismo descentralizado de la administración pública de al ciudad, sectorizado en la SEDEMA, con el fin de darle a la gestión del agua, un carácter ambiental y de sustentabilidad (PAOT 2011).

Como complemento a este breve recuento de la historia de la gestión ambiental pública en la Ciudad de México, cabe mencionar que en el año de 2001 se crea la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), como una instancia avocada a la vigilancia de la política ambiental, la recepción de denuncias ciudadanas y el cumplimiento de la normatividad en la materia (PAOT 2011).

Como se mencionó anteriormente, en la gestión ambiental de la Ciudad de México no participan ni han participado solamente las instancias con atribuciones explícitas en materia ambiental. Por la propia índole del medio ambiente como dimensión que incluye diversos ámbitos de la vida social y política, otras instancias de gobierno como la Secretaría de Transportes y Vialidad, la Secretaría de Obras, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, por mencionar a las que más claramente están implicadas, también incide su operación en la calidad del medio ambiente.

Programas para la conservación del medio ambiente y de la biodiversidad

Existen diferentes programas de aplicación local en la Ciudad de México e incluso algunos con influencia en el área metropolitana que inciden, ya sea directa o indirectamente, en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad; entre los principales proyectos y programas relacionados con el tema de estudio

tenemos los siguientes (cuadro 3).

Existen también, programas cuyo objeto está eminentemente dirigido a la conservación de la biodiversidad de la ciudad, como los que a continuación se enlistan:

- Programas y Proyectos de Investigación y Conservación de la Fauna Silvestre.
- Programa de Modernización y Desarrollo.
- Plan Estratégico de Atención y Conformación de la Colección de Fauna Silvestre, y
- Programa de Educación y Comunicación Ambiental.

Flora y Fauna

Para la atención de los recursos faunísticos y de flora, la Secretaría del Medio Ambiente creó el Programa de Vigilancia y Control de los Recursos Naturales, que tiene como objetivo garantizar la protección y conservación de los recursos naturales, a través de la verificación oportuna y eficaz del cumplimiento de las legislaciones ambiental y forestal.

La base de este programa es preservar las ANP de la Ciudad de México y proteger la zona sur de la demarcación capitalina, la cual concentra la mayor parte del suelo de conservación. Por tal motivo, en este programa se establece como objetivo: vigilar y preservar los recursos naturales en las 88 639 ha de suelo de conservación, con atención especial a 16 áreas naturales protegidas.

En el rubro de flora y fauna las principales acciones emergidas del programa han sido:

- Recorridos de supervisión.
- Operativos forestales estratégicos en sitios con mayor incidencia.
- Inspecciones a centros de almacenamiento, transformación y comercialización de productos forestales.
- Operativos especiales en periodos vacacionales.
- Auditorías técnicas a predios autorizados para el aprovechamiento forestal.
- Cursos de capacitación para el cuerpo de ecoguardas, inspectores federales y comités de vigilancia social.

En el contenido del programa se manejan las siguientes cifras estadísticas para la Ciudad de México:[11]

- 88 639 ha de suelo de conservación.
- 50 000 ha con aptitud forestal.
- 46 núcleos agrarios.
- 718 asentamientos humanos (regulares e irregulares).
- Seis predios de aprovechamiento forestal autorizados.
- 25 bancos de explotación de materiales pétreos.
- 10 vías principales de acceso a la ciudad.
- 100 tiros clandestinos de cascajo y basura, y
- 60 centros de almacenamiento, transformación y comercialización de productos forestales ilegales en suelo de conservación.

Asimismo, en el Programa Sectorial de Medio Ambiente 2007-2012, se plantean como retos la realización de monitoreos e inventarios de flora y fauna silvestre para establecer acciones oportunas de protección de especies, dando prioridad a endémicas y en peligro de extinción.

Emisión de gases

El gobierno local ha establecido políticas que intentan controlar la emisión de contaminantes atmosféricos que afectan la calidad del aire y generan el efecto invernadero, fenómeno relacionado al calentamiento global. Conservar un aire limpio de contaminantes, así como mantener un clima estable, será esencial para permitir la conservación de la biodiversidad silvestre de la entidad.

[11] Secretaría de Medio Ambiente. En: http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=72, última consulta, 21 de enero de 2012.

Cuadro 3. Principales programas e instrumentos de política ambiental para la conservación de la biodiversidad.

Programa y/o instrumento de política	Breve descripción
Programa Integral de Prevención y Combate de Incendios Forestales 2009.	En él participan instancias y dependencias de los tres niveles de gobierno y participan activamente dueños y poseedores de los terrenos forestales, quienes integran brigadas comunitarias, conformando entre todos un frente común para la prevención y combate de incendios forestales.
Programa de Reforestación Rural.	Con él se busca establecer un cinturón verde que contribuya en la reducción de partículas suspendidas totales en la atmósfera de la ciudad.
Plan Verde de la Ciudad de México.	Define las estrategias y acciones para encaminar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad, a través del trabajo y la colaboración multisectorial.
Agenda Ambiental (Programa de Medio Ambiente 2007-2012).	Es el instrumento que define el marco de planeación conforme al cual se integrarán las políticas públicas en materia ambiental para el Distrito Federal.
Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal.	Es el instrumento rector para el desarrollo de actividades y obras que se pretenden instrumentar en el suelo de conservación.
Estrategia Local de Acción Climática.	Se generó como una herramienta para la toma de decisiones en la aplicación de acciones que reduzcan emisiones de contaminantes globales a la atmósfera.
Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales en Reservas Ecológicas Comunitarias y en Áreas Comunitarias de Conservación Ecológica.	Busca promover acciones de vigilancia ambiental A fin de proteger, conservar y resguardar la biodiversidad de los terrenos con vegetación natural.
Programa de Fondos de Apoyo para la Conservación y Restauración de los Ecosistemas.	A través de él se ejecutan obras y acciones orientadas a proteger, conservar y restaurar los ecosistemas, mediante un esquema de coparticipación sociedad-gobierno.
Programa de producción y mantenimiento de árboles, arbustos y planta ornamental en los viveros Yecapixtla y Nezahualcoyotl.	Tiene como objetivo producir árboles, arbustos, ornamentales y cubresuelos, de especies adecuadas y de buena calidad, para la creación y mantenimiento de las áreas verdes urbanas, restauración de bosques y establecimiento de huertos frutales y azoteas verdes en el Distrito Federal.
Programa de Adopción de Áreas Verdes.	Permite llevar a cabo la protección y cuidado de áreas verdes mediante su "adopción" por particulares.
Programa de Capacitación ambiental.	Busca incidir en la sensibilidad, conocimientos y valores de los sujetos para promover formas alternativas de relación con el ambiente, manejo de sus recursos y de los servicios ambientales que presta, por medio de la adquisición de conocimientos y habilidades, así como mediante la mejora de instrumentos, difusión de experiencias de trabajo exitosas, contemplando acciones interinstitucionales, normas y reglamentos.
Programa de Capacitación para ecoguardas e inspectores ambientales.	Con él se busca certificar al personal en funciones de inspección y vigilancia ambiental, como peritos o técnicos ambientales.
Programa de Verificación Vehicular.	Mediante este programa se busca reducir y controlar las emisiones generadas por vehículos automotores que circulen en la ciudad.
Programa de Acción Climática de la Ciudad de México.	Identifica y presenta los elementos básicos que se requieren para la instrumentación de líneas de acción y actividades específicas que deberán llevarse a cabo con objeto de reducir los riesgos y los efectos del cambio climático.
Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos.	Tiene como objetivo general contribuir en la mejora del medio ambiente, garantizando la efectiva cobertura del servicio público de limpia, minimizando la generación y disposición a través de una gestión integral basada en una planificación participativa, con conciencia ambiental de todos los sectores de la sociedad.
Proyecto Salvemos el río Magdalena.	Con él se pretende dar orden temporal y sentido espacial al manejo, conservación, uso y restauración necesarios en las cuencas de los ríos Magdalena y Eslava.
Estudio para la recarga del acuífero en el suelo de conservación del D. F.	Tiene como objetivo establecer en suelo de conservación un manejo racional de los recursos hídricos, que incluya un aprovechamiento integral del agua de lluvia y la recarga de acuíferos.

Fuente: Agenda Ambiental de la Ciudad de México, Programa de Medio Ambiente 2007-2012.

Para minimizar la gran huella ecológica en emisiones de gases de efecto invernadero de la ciudad, el Gobierno de la Ciudad de México pretende rediseñar el Sistema de Monitoreo Atmosférico y, asimismo, se establecieron retos para cumplir en el 2012. En el caso de las emisiones por fuentes fijas se propuso la meta de reducir 10 mil toneladas anuales de contaminantes provenientes de la industria para el 2012. Será necesario evaluar estas metas y su cumplimiento.

Agua

El valle de la Ciudad de México antiguamente albergó una extensa cuenca lacustre rica en biodiversidad y especies endémicas; sin embargo, el avance de la mancha urbana terminó por desecar el sistema de lagos, por lo que fueron entubados los principales ríos. Actualmente, gran parte del territorio capitalino padece de estrés hídrico[12] por la sobreexplotación de los mantos acuíferos y la dificultad de recargarse naturalmente debido a la capa de cemento que cubre el centro-norte de la ciudad. La enorme demanda de agua ha provocado que la Ciudad de México obtenga gran parte de su agua potable del sistema de presas Lerma-Cutzamala; todas fuera de la cuenca de México, lo que ha provocado un fuerte impacto ambiental en las zonas de explotación acuífera. Asimismo, la gran cantidad de agua residual que se genera en la capital es expulsada de la cuenca a través de obras monumentales que llevan los desperdicios de la ciudad a esparcirse al norte de la misma hasta desembocar en el golfo de México.

El agua es fuente de vida; su disposición y consumo es elemental para la supervivencia de los ecosistemas, por ello su gestión debe tomar en consideración los efectos que conlleva su sobreexplotación.

El Plan Verde de la Ciudad de México y el Programa de Manejo Sustentable del Agua en la entidad contemplan varias acciones tendientes a minimizar el uso excesivo del agua, fomentando la reutilización del agua residual con el fin de garantizar la sustentabilidad en el uso del líquido vital, buscando generar un menor impacto a los ecosistemas afectados.

Dentro del Plan Verde destacan las siguientes estrategias:

Estrategia 1.- Alcanzar el equilibrio del acuífero

- Construcción de infraestructura de contención del suelo en 11 000 ha del suelo de conservación para lograr mayor recarga y evitar la erosión y el azolve del drenaje.
- Declarar 33 barrancas urbanas del poniente de la ciudad como áreas de valor ambiental hacia al 2012.
- Ampliar la red de pozos de absorción y las acciones de incremento de recarga en el suelo de conservación, para incrementar la infiltración en 2.5 m^3/s.
- Alcanzar la cobertura de micromedición a 100% (capacidad de medir el agua consumida por los usuarios).[13]

Estrategia 2.- Reducción del consumo de agua potable

- Reducir en 10% el número de usuarios morosos del pago por el servicio de abastecimiento de agua.
- Reducción del consumo de agua en 4% en la ciudad para el 2012.
- Consolidar la campaña permanente de cultura del agua.

[12] Fenómeno que se presenta cuando la demanda de agua excede el monto disponible de agua durante un cierto periodo o cuando por su baja calidad se restringe su uso. Este fenómeno provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.). Agua fresca en Europa, PNUMA-División de Evaluación y Alerta Temprana (DEWA-Europe, 2003).

[13] Programa de Gestión de Organismos Operadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Desarrollar normatividad para el ahorro, captación y tratamiento de agua en la ciudad.

El Programa de Manejo Sustentable del Agua en la Ciudad de México contempla una serie de subprogramas que incluyen el cuidado de los pocos caudales que aún quedan en su territorio, como es el caso del río Magdalena, de aproximadamente 20 km de longitud, que se localiza al sur-poniente de la ciudad y es el escurrimiento en mejor estado de conservación de la cuenca; su flujo es permanente y alcanza un promedio de 1 m^3/s con picos, en temporada de lluvias, de hasta 20 m^3/s; sin embargo, solamente una quinta parte del caudal se aprovecha y el resto se desperdicia y es desalojado en el sistema de drenaje. Actualmente, las presiones urbanas sobre la cuenca comprometen la subsistencia de este río, por lo que el gobierno local ha ideado su rescate como patrimonio natural, que puede aportar a la Ciudad de México un caudal significativo de agua y, a la vez, prestarle notables servicios ambientales.

Otras acciones de gran escala con cuya aplicación en el territorio de la ciudad se pretende proteger el recurso hídrico son:

- Programa de recarga con agua residual tratada.
- Monitoreo e inventario de asentamientos humanos irregulares.
- Reconversión productiva de terrenos agrícolas a plantaciones forestales y agroforestales.

Ahora bien, los siguientes programas tienen como fin garantizar la permanencia del balance hidráulico del suelo de conservación:

1. Programa de Fondos para Conservación y Restauración de los Ecosistemas.
2. Programa de Reforestación en Suelo de Conservación.
3. Programa de Fortalecimiento del Sistema de Áreas Naturales Protegidas.
4. Programa de Retribución por Servicios Ambientales.

Otros programas relacionados con una mejor gestión de los recursos hidráulicos en la cuenca de la ciudad de México son:

1. Programa Crecimiento Cero.
2. Programa Reconversión Productiva de Terrenos Agrícolas a Plantaciones Forestales.
3. Programa Lacustre de San Pedro Tláhuac.
4. Programa Parque Lacustre de San Gregorio Atlapulco.
5. Programa de Rescate Ecológico de los ríos Magdalena y Eslava.

Residuos sólidos

En la Ciudad de México son generadas diariamente alrededor de 12 500 t de residuos sólidos, mismos que eran dispuestos en el Bordo Poniente, que era el único relleno sanitario en activo, cuyo funcionamiento inició en 1985 y concluyó en diciembre de 2011. La zona que actualmente ocupa el Bordo Poniente se ubica sobre la última región en desecarse del Lago de Texcoco, que en aproximadamente dos décadas ha perdido todo vestigio de su grandeza. Sin embargo, los problemas ahora son otros, dañinos y peligrosos, y tienen que ver con la descomposición de la basura, la intoxicación e infertilidad del suelo contaminado, así como con el potencial riesgo de contaminar los mantos freáticos debido a la filtración de lixiviados provenientes de la descomposición masiva de residuos orgánicos, así como la consecuente polución atmosférica derivada de la emisión de gas metano producido por la descomposición de residuos orgánicos.

Al respecto, el Programa de Gestión Integral de Residuos sólidos para la Ciudad de México [14] plantea la necesidad de reutilizar la mayor parte de la basura generada para así reducir el

[14] Jefatura de Gobierno del Distrito Federal. 2010. Acuerdo por el que se aprueba y expide el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal.

impacto negativo que tiene ésta sobre el ecosistema y la biodiversidad al ser almacenada en enormes cantidades. El Programa plantea que la significativa porción de residuos orgánicos de la ciudad debe transformarse en una fuente para la elaboración de mejoradores de suelo para ser utilizados en las actividades agrícolas que se desarrollan en algunas delegaciones, así como para regenerar las áreas del suelo de conservación dañadas por la erosión.

Uso de suelo

La extensión aproximada que hoy abarca la mancha urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es de 180 000 ha. Los datos apuntan que la Ciudad de México abarca 7 049 ha de espacios públicos, de los cuales el 67% son áreas verdes públicas, es decir 4 709 ha, y 33% (2 304 ha) de plazas y otro tipos de espacios.

Las áreas verdes están constituidas por los bosques urbanos, plazas, parques deportivos, jardines, barrancas, glorietas, camellones, arriates o cualquier elemento de vegetación que se ubique en suelo urbano y que esté sujeto a la zonificación secundaria en los Programas de Desarrollo Urbano Delegacionales.

La ciudad proporciona a cada habitante 5.4 m^2 de área verde, lo cual no cumple con los parámetros internacionales, en los que se sugieren entre 9 a 16 m^2 por habitante (Organización Mundial de la Salud y Organización de las Naciones Unidas, respectivamente).

Resulta evidente la inadecuada distribución y déficit del espacio público y las áreas verdes. Prácticamente ha permanecido invariable el porcentaje de área verde por habitante en la Ciudad de México durante los últimos 70 años. Además, la conurbación con el Estado de México exige a la ciudad proveer de valores y el incremento de los servicios ambientales a todos los que la viven y la transitan, independientemente de su origen y destino.

Es notorio que hay espacios públicos que presentan un significativo grado de abandono o de invasión de sus áreas, lo que ha sido consecuencia de varios factores, entre ellos:

- Ausencia de una visión integral que entienda al espacio público como un todo articulador.
- Los mecanismos existentes para su planeación, administración, mantenimiento y el débil marco jurídico y normativo para su gestión. Mínima vinculación interinstitucional.
- Tendencia a privatizar espacios públicos mediante la venta o apropiación ilegal de remanentes y el comercio fijo, semifijo y ambulante.
- Proliferación de asentamientos irregulares.
- Degradación urbana y ruptura del tejido social aunado a la ausencia de una autoridad responsable, provocando con ello inseguridad, vandalismo y delincuencia.
- Nula participación social para su cuidado y aprecio.
- Carencia de programas de manejo en la gran mayoría de los bosques urbanos como de las áreas verdes urbanas.

Para salvaguardar la flora y la fauna silvestre existente en la ciudad y mantener la viabilidad de la urbe, resulta necesaria la conservación de áreas en las que no se permita la expansión urbana, a fin de que sigan otorgando servicios ambientales, brindando cierto equilibrio ecológico a la ciudad; sin embargo, aunque es reconocida la importancia del suelo de conservación, la aparición de asentamientos humanos irregulares y el creciente desarrollo inmobiliario contribuyen a que cada día se reduzcan los espacios verdes, acotándose así el hábitat de las especies silvestres de la entidad.

Actualmente el territorio de la Ciudad de México cuenta con una superficie total de 149 900 ha, repartidas en 16 delegaciones políticas, este terreno se divide en: suelo urbano, 61 458 ha (41%), y suelo de conservación, 87 310 ha (59%). Actualmente, son siete las delegaciones que tienen un suelo exclusiva-

mente urbano: Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Iztacalco, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza. Las nueve restantes cuentan con áreas de suelo de conservación en su extensión territorial, dichas delegaciones son: Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco.

El suelo de conservación concentra casi la totalidad de la biodiversidad de la ciudad, por lo cual su cuidado es fundamental para mantener los pocos ecosistemas presentes y sus servicios ecosistémicos asociados.

El suelo de conservación proporciona refugio a más de 2 500 especies de flora y fauna, dispersas en una extensa gama de ecosistemas y hábitat únicos, debido principalmente a su ubicación en la Faja Volcánica Transmexicana, que brinda hábitat a 2% de la biodiversidad mundial y a 12% de las especies de flora y fauna de México.

En lo que respecta a la vegetación del suelo de conservación de la Ciudad de México, se distinguen los siguientes tipos: pastizal o zacatonal, bosque de coníferas, bosque mixto, bosque de encino, bosque de galería o mesófilo, matorral xerófilo y vegetación acuática y subacuática (zona lacustre en Xochimilco y Tláhuac, Programa Sectorial de Medio Ambiente).

El mantenimiento y manejo de vida silvestre es complejo y requiere de un análisis detallado para mejorar el manejo y la conservación, tanto de las especies presentes en sus hábitats (*in situ*) como las mantenidas en cautiverio (*ex situ*).

Con la publicación del Programa Sectorial de Medio Ambiente para la Ciudad de México, se planteó entre sus objetivos generales "Proteger el suelo de conservación como espacio clave del equilibrio ecológico en la Ciudad, mediante la conservación de los ecosistemas que lo conforman, así como preservar la flora y la fauna silvestres para garantizar la permanencia de los servicios ambientales".

Entre sus objetivos especiales o específicos sobresalen:

- Preservar la biodiversidad y promover el manejo sustentable de los recursos naturales.
- Fomentar actividades agroecológicas rentables y ambientalmente amigables como una estrategia para la preservación del suelo de conservación.
- Evitar la pérdida de suelo de conservación y recuperar superficie ocupada por asentamientos humanos irregulares, ubicados en zonas de alto valor ambiental.
- Ejecutar acciones para la recuperación y restauración de ecosistemas.
- Fomentar la participación social en la protección y conservación de los ecosistemas y sus servicios ambientales.

Ante esta necesidad de preservar el suelo de conservación, en el Plan Verde de la Ciudad de México se han establecido estrategias, en las que se enlistan algunos de los puntos en los que se centrarán sus acciones, mismos que coinciden con lo establecido en el Programa Sectorial de Medio Ambiente. Las estrategias que se proponen en el Plan Verde son:

Estrategia 1. Contención del crecimiento urbano y recuperación de los espacios ocupados por asentamientos irregulares del suelo de conservación.

Estrategia 2. Restauración y conservación de ecosistemas en el suelo de conservación.

Estrategia 3. Pago de servicios y bienes ambientales como mecanismo para compensar los costos de la conservación.

Estrategia 4. Impulso a los agroecosistemas y manejo sustentable de los recursos naturales.

Programa de Ordenamiento Ecológico

El Programa General de Ordenamiento Ecológico de la ciudad (PGOEDF) sirve de base para la elaboración de los programas y proyectos de desarrollo, así como obras y actividades que se pretendan ejecutar. El PGOEDF se constituye como el instrumento de política ambiental

que define el uso del suelo en las aproximadamente 87 124 ha de suelo de conservación de la Ciudad de México.

Cabe destacar que actualmente se prepara el nuevo PGOEDF; no obstante, aún se encuentra vigente el expedido en el año 2000. Del 23 de agosto al 30 de septiembre de 2010, se llevó a cabo una consulta pública en la que los interesados presentaron sus propuestas del diseño y la definición del Programa de Ordenamiento Ecológico, en el cual se presenta la zonificación, lineamientos y estrategias para llevar a cabo la planeación y uso del suelo de conservación.

En el periodo de octubre de 2009 a agosto de 2010, se llevaron a cabo las etapas de caracterización y diagnóstico, y en septiembre de 2010, dio inicio la etapa de pronóstico y como apoyo se llevaron a cabo 25 reuniones de trabajo con delegaciones y núcleos agrarios para dar a conocer los resultados del modelo de ordenamiento. En la propuesta de actualización del (PGOEDF) se señala la intención de hacerlo compatible con los programas de desarrollo urbano.

Habitabilidad y espacio público

El rescate de espacios públicos olvidados o invadidos por asentamientos humanos irregulares contribuirá al mejoramiento de la calidad del medio ambiente de la ciudad; resulta necesario también conservar los espacios verdes en la mancha urbana e incentivar a los ciudadanos a sembrar árboles y reverdecer la ciudad en los espacios que sea posible, como jardines o azoteas. Respecto de este importante tema, dentro del Plan Verde de la Ciudad de México, destacan las siguientes estrategias:

Estrategia 1. Rescate y consolidación de espacios públicos existentes en los Corredores de Integración y Desarrollo con vocaciones recreativas y ambientales.

Estrategia 2. Incremento de las áreas verdes y dotación de infraestructura, mobiliario urbano y elementos de accesibilidad para los espacios públicos.

Asimismo el Programa Sectorial de Medio Ambiente 2007-2012 promueve como uno de sus objetivos: Proteger, conservar, desarrollar y consolidar las áreas verdes urbanas y los espacios culturales y de divulgación del conocimiento y aprecio de la flora y fauna.

Del mismo modo, se propone como estrategia dentro de dicho programa: Bioética, bienestar animal y protección de los animales. Consolidar una nueva conciencia moral, sobre la conducta del hombre con el mundo natural que lo rodea, que se centre en el ambiente y los organismos que en él viven, poniendo especial énfasis en la relación del hombre con los animales. Por tanto, se deben impulsar acciones dirigidas a la realización de actos humanos que defiendan la vida y el bienestar de los animales, promoviendo así la conservación de las especies.

Movilidad y transporte

Conservar el medio ambiente implica evitar mayores focos de contaminación; en las grandes urbes, la movilidad tanto de personas como de mercancías a través de vehículos motorizados se constituye como la principal fuente emisora de gases de efecto invernadero, por lo cual resulta necesario hacer más eficiente y menos contaminante este transporte.

Con el desarrollo de acciones concretas para la implementación de tales estrategias, se estará propiciando la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y sus consecuentes efectos en el clima, por lo que se está beneficiando directa e indirectamente la conservación de la biodiversidad presente en la Ciudad de México y su área metropolitana, al evitar cargas excesivas en la flora y fauna.

Energía y Cambio Climático

En relación con el tema anterior, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es un reto de toda gran ciudad en el

mundo, por tal motivo la Ciudad de México también incentiva la utilización de energías renovables y la realización de acciones de adaptación al cambio climático para disminuir los daños al medio ambiente; cómo podemos observar en las estrategias que son promovidas en el Plan Verde:

Estrategia 1. Llevar a cabo acciones que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero.

Estrategia 2. Reducir la vulnerabilidad de la Ciudad de México ante el cambio climático y contar con medidas de adaptación para la población en general.

Estrategia 3. Impulsar acciones de comunicación y educación para el cambio climático.

Participación y conciencia pública

La cultura ambiental en la Ciudad de México es un mosaico, resultado de diversas tradiciones y aprendizajes, de la inmigración y su distribución en el territorio de las 16 delegaciones y de la interacción con los municipios conurbados que conforman la metrópoli.

El saber ambiental se basa en el conocimiento científico, en el tradicional y personal, y conforma un conocimiento emergente en el que se construye de manera interdisciplinaria.

La actual cultura se funda en el modelo de desarrollo económico y sus patrones de consumo que nos han llevado a la actual crisis ambiental. Esta crisis tiene sus efectos sobre el entorno natural y social, el reto es frenar este impacto ambiental y recobrar nuestra relación con la naturaleza y con nuestros semejantes.

Para impulsar la cultura ambiental es necesario promover nuevos valores y replantear la relación entre sociedad y naturaleza, mediante la construcción de un nuevo modelo de desarrollo, el uso de nueva tecnología y la incorporación de nuevos hábitos. La cultura ambiental busca que la población, ya sea de manera individual o colectiva se involucre de manera corresponsable con las acciones de gobierno en la resolución de los problemas ambientales de la ciudad y de su área metropolitana. Las actividades que se desarrollan en los espacios asociados dedicados a la educación ambiental, así como a la conservación de especies de flora y fauna silvestres están pensadas para que la población, ya sea como individuos o como sectores, se encuentren y aprendan a manejar y a cuidar responsablemente los recursos naturales, compartiendo experiencias exitosas y formas positivas para aprovechar y vivir el ambiente en nuestra ciudad; explorando el entorno en su dualidad de patrimonio tangible e intangible, a través de programas de capacitación, comunicación, educación formal y no formal, así como la realización de actividades recreativas.

Conclusiones

A lo largo de la historia de la administración pública en México han sido creados diferentes instrumentos tendientes a proteger la biodiversidad con que contamos en la ciudad, cuya aplicación en algunos casos trasciende el territorio local por tratarse de políticas e instrumentos nacionales e incluso existen algunos de carácter regional que contemplan la extensión de la cuenca de la Ciudad de México, a través de los cuales se pretende proteger en su conjunto o en áreas específicas, los recursos naturales de la entidad.

Ha quedado manifiesto que la gestión de recursos naturales debe ser atendida desde muy diversos aspectos y por diversos actores, resultando necesario coordinar los esfuerzos de las diferentes autoridades que intervienen, así como de la sociedad civil organizada e incluso de los particulares. En este sentido, resulta necesario que las autoridades tengan claro las atribuciones que les asisten, a fin de ejercerlas eficientemente y hacer cumplir la normatividad; por su parte corresponde a los gobernados dar cumplimiento a las previsiones de leyes y reglamentos, así como denunciar las violaciones a éstos.

Ahora bien, no sólo en las leyes y reglamentos se establecen las directrices para la conservación de la biodiversidad; existen también diversos programas federales y locales que tienen como objetivo procurar el desarrollo sustentable y la protección de los recursos naturales. Existen también instrumentos cuya finalidad es la de establecer lineamientos en torno a los cuales se desarrollarán las políticas públicas y que sirven de marco para la elaboración de otros más específicos.

La protección de la biodiversidad requiere de la concertación de esfuerzos en diferentes ramas y materias, motivo por el que sólo se puede entender que dicha protección sea alcanzada mediante la unión de los esfuerzos de autoridades y particulares.

Referencias

Agenda Ambiental de la Ciudad de México, Programa de Medio Ambiente 2007-2012, en: *<http://www.buyteknet.info/fileshare/data/proyecto_cfe/Agenda%20ambiental%20del%20DF/00presentacion.pdf>*, última consulta: 31 de julio de 2013.

ALDF. Asamblea Legislativa del Distrito Federal. 2000. Ley Ambiental del Distrito Federal. Publicada el 15 de julio de 2010 en la Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. Texto vigente.

——. 2002*a*. Código Penal Para el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. Última reforma publicada 27 de diciembre de 2012.

——. 2002*b*. Ley de Protección a los Animales del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. Última reforma publicada 10 de noviembre de 2012.

——. 2008. Ley de Desarrollo Metropolitano para el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. Última reforma publicada 02 de octubre de 2008.

——. 2010. Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal. Publicada 15 de julio de 2010.

Angulo-Carrera, A. 2008. La Nueva Visión de la Procuración de Justicia Ambiental en Vida Silvestre. Derecho Ambiental y Ecología, año 4, número 24, pp. 41-46.

CDB. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 1992. En: *<http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>*, última consulta: 31 de julio de 2013.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2013. Objetivos y Estrategias. En: *<http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=3>*, última consulta: 31 de julio de 2013.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2013. Áreas naturales protegidas decretadas. En: *<http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/>*, última consulta: 29 de julio de 2013.

FEDAPUR. Fiscalía Desconcentrada de Investigación en Delitos Ambientales y en Materia de Protección Urbana. 2013. En: *<http://www.pgjdf.gob.mx/fedapur/preguntas.html>*, última consulta: 29 de julio de 2013.

Ojeda-Mestre, R. 2010. Consultor Ambiental Jurídico Independiente. Comunicación personal, noviembre.

PAOT. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. 2011. Antecedentes de la Entidad. En: *<http://www.paot.org.mx/centro/paot/memoria/index-2.html>*, última consulta: 31 de julio de 2013.

Quadri de la Torre, G. 2010. Director de Ecosecuryties, México. Comunicación Personal, diciembre.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2001. Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Diario Oficial de la Federación (DOF). Última reforma publicada el 12 de enero de 2012.

——. 2006. Ley de Productos Orgánicos. Publicado el 7 de febrero de 2006 en el Diario Oficial de la Fedración. Texto vigente.

SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1992. Ley de Aguas Nacionales. Publicada el 1 de diciembre de 1992 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 11 de agosto de 2014.

Secretaría de Gobernación. 1931. Código Penal Federal. Última reforma publicada 07 de junio de 2013.

SEDUE. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1988. Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Publicada el 28 de enero de 1988 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 9 de enero de 2015.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas. Última reforma publicada 28 de diciembre de 2004.

——. 2009. Programa de Pago por Servicios Ambientales (Presentación). México.

——. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Publicado el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

——. 2013. En: *<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nomsxmateria.aspx>*, última consulta: 21 de enero de 2013.

Sheinbaum, C. 2008. Problemática ambiental de la ciudad de México. LIMUSA-UNAM. México.

SMA. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. 2011. *<http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/agendambiental2008/03suelo.pdf>*, última consulta: 31 de julio de 2013.

——. 2005. NADF-006-RNAT-2004. Publicado en: Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal, 18 de noviembre de 2005.

SMA-GEM. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México. 2010. Diagnóstico Ecosistémico Tomo III. Marco Físico- Biótico. México.

——. 2007. Programa Sectorial de Medio Ambiente 2007-2012. En: *<http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/programasectorial.pdf>*, última consulta: 31 de julio de 2013.

——. 2013. Plan Verde Cd de México. En: *<http://www.sma.df.gob.mx/planverde/images/descargas/plan_verde_junio2011.pdf>*, última consulta: 29 de julio de 2013.

SS. Secretaría de Salud. 2005. Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Publicada el 18 de marzo de 2005 en el Diario Oficial de la Federación. Texto vigente.

UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 1972. Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. En: *<http://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>*, última consulta: 31 de julio de 2013.

Análisis de los programas ambientales y política pública en la conservación de la biodiversidad

Diego David Reygadas Prado
Francisco Javier Romero Malpica
Sergio Alejandro Méndez Cárdenas

Introducción

El carácter centralizado y poco participativo que históricamente tuvo la Ciudad de México cambió en 1997, cuando se eligió por primera vez a un Jefe de Gobierno; no obstante, se evitó que el ejercicio gubernamental se fortaleciera al no restablecerse los municipios o delegaciones con Consejos Ciudadanos con capacidades y suficiente autonomía en el manejo del presupuesto participable y en la planeación del territorio (al aprobar los planes de desarrollo urbano delegacionales y de manejo de áreas naturales y suelo de conservación), como lo tuvieron efímeramente los Consejos Ciudadanos electos el 12 noviembre de 1995 y eliminados con el primer gobierno electo en 1997.

Hoy, la planeación y gestión del territorio cuenta con instrumentos que involucran la participación ciudadana; sin embargo, las concepciones dominantes del ordenamiento territorial privilegian la construcción urbana sobre el suelo de conservación. Esto a partir de las teorías del urbanismo operacional y de la especulación inmobiliaria, que entienden al ambiente (suelo de conservación, áreas verdes, espacios públicos) como lo que queda, como lo residual, como lo marginal después de construir vivienda, comercio o administración (Carrión 2012). Por el contrario, la otra concepción afirma que a partir del espacio ambiental y público se organiza la ciudad (Carrión 2012), y está de acuerdo en que la cuestión del cambio climático, y particularmente de la biodiversidad, no pueden reducirse sin más a una preocupación por el ambiente como un contexto externo de la acción humana. La biodiversidad ha pasado a un primer plano, el ambiente ya no es externo a la vida social humana, sino que está totalmente unido y cubierto por ella, ya nada puede darse por supuesto respecto al ambiente y éste se transforma en área de acción en la que los seres humanos tienen que tomar decisiones prácticas y éticas. También ha dado origen a un amplio número de iniciativas que tienen que ver con su territorio, desde la perspectiva normativa y del conocimiento científico, siendo sustantiva la generación de programas y proyectos que se entrelazan con las instituciones de investigación y docencia, las instituciones federales y del gobierno local, resultando compleja su integración y análisis. A continuación se presenta un recuento del quehacer institucional, poniendo énfasis en la década de los ochenta, momento en que se reconoce, una política pública dirigida hacia la conservación de los recursos naturales y el ambiente.

Antecedentes

En principio, para entender la política pública en la Ciudad de México y los programas am-

Reygadas P., D., F.J. Romero y S.A. Méndez C. 2016. Análisis de los programas ambientales y política pública en la conservación de la biodiversidad. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol.I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 252-262.

bientales derivados de ésta y sus repercusiones en la biodiversidad, se presenta una cronología y visión general de las instituciones, leyes, normas y programas de carácter federal que han incidido en la ciudad.

El primer antecedente de la época moderna es 1904, cuando por iniciativa de Miguel Ángel de Quevedo se crea la Junta Central de Bosques y Arbolados, la cual operó casi exclusivamente en la entidad (De la Maza 1999).

Ante la creciente actividad forestal y la estabilización social y política del país después de la Revolución Mexicana, el gobierno de Lázaro Cárdenas marca el parte aguas de la política de conservación ambiental de los gobiernos posrevolucionarios y se caracteriza por la creación de reservas y la protección de bosques nacionales. En 1935, crea el Departamento Autónomo Forestal y de Caza y Pesca con injerencia nacional y se establecen las nuevas reglas para el aprovechamiento forestal con la publicación del primer Código Forestal en 1938. Recordemos que la legislación federal aplica de manera directa a la Ciudad de México, ya que en 1929 se elimina la elección de las autoridades locales y municipales y se crean la Regencia del Departamento y las delegaciones políticas, designadas directamente por el presidente de la república (Castañeda 2006).

La iniciativa de Venustiano Carranza en 1917 de crear el Parque Nacional Desierto de los Leones fue realmente asumida hasta el periodo cardenista, que se destaca por la creación de parques nacionales para mitigar el impacto del crecimiento agrícola sobre los bosques. Se crean así los parques nacionales Bosque de Chapultepec y Cumbres del Ajusco (1935), Tepeyac y Barranca de Chapultepec (1937), y Remedios, Lomas de Padierna, Cerro de la Estrella y Centro Histórico de Coyoacán (1938) (De la Maza 1999).

En 1940, con la llegada de Manuel Ávila Camacho, se suprimen las acciones que tenían impacto sobre la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad, además se cierra el Museo de Flora y Fauna de Chapultepec, el Instituto Forestal y la Escuela de Guardas Forestales de Tlalpan (Castañeda 2006).

Derivado de la política de concesiones forestales y del inapropiado esquema de manejo forestal basado en el aprovechamiento selectivo de los mejores individuos del bosque, surge la preocupación por detener la degradación de los bosques en el país y se decreta en 1947 la veda forestal para la ciudad (Secretaría de Agricultura y Economía 1947), que prohíbe el aprovechamiento comercial de madera. Esta situación jurídica permanece hasta nuestros días y, paradójicamente, con la veda y la falta de un manejo forestal que beneficie económicamente a las familias que habitan las áreas boscosas, se convirtió en uno de los factores causales de una mayor degradación de los bosques, ya que las comunidades rurales han tenido que enfrentar las especulaciones de los agentes inmobiliarios para cambiar el uso del suelo de conservación al de vivienda.

Las áreas naturales protegidas son, sin duda, uno de los espacios que tradicionalmente se ligan de manera directa a la conservación de la biodiversidad. Las distintas fuentes de información indican su relevancia (Soberón *et al.* 1996, De la Maza 1999, Melo 2002, Castañeda 2006). La aparición de esta figura formalmente surgió en la década de los setentas y su evolución como espacios de conservación de la biodiversidad se ha consolidado hasta contar hoy con una Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) vinculado horizontalmente a la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO)[1], así como al Instituto Nacional de Ecología (INE), a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en lo referente a la Estrategia de Cambio Climático para Áreas Protegidas (CONANP 2014), que indica la consideración del enfoque de gestión integral de

[1] Un punto importante en la conservación de la biodiversidad lo constituye la creación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad (CONABIO) en 1992 a partir del cual se prevé contar con una estructura que facilite las acciones nacionales y estatales en torno a este recurso biológico.

riesgo en el diseño y operación de planes de manejo de las áreas protegidas, así como el establecimiento de planes de prevención y contingencia ambiental.

No obstante, para alcanzar este nivel de participación institucional, antes se vivió un proceso largo y en no pocas ocasiones contrario a la aceptación de la relevancia que tiene la creación de áreas naturales protegidas y algunas de sus variantes, como es el caso de reservas de la biosfera. El contexto internacional influyó de manera determinante para que los diferentes actores políticos y particularmente los gubernamentales asumieran un compromiso en la agenda oficial, hacia finales de la década de los setenta, después de la Cumbre de la Tierra realizada en Estocolmo, Suecia, en junio de 1972, por iniciativa internacional de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo; el gobierno mexicano es de los primeros en comprometerse en sus resoluciones (CONABIO 1998).

Para los noventa, se tiene como marco de referencia la Cumbre de Río de Janeiro, Brasil, realizada en junio de 1992, en donde México nuevamente asume los compromisos del desarrollo sustentable ante 108 naciones y de seguir el Programa 21 que considera incorporar el ambiente y lo social a las políticas de desarrollo económico. Uno de los principales logros es el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Naciones Unidas 1992), que se abrió para su firma en la Cumbre para la Tierra de 1992 y desde entonces ha sido ratificada por 183 naciones, entre ellas México, y que entró en vigor el 29 de diciembre de 1993 (CONABIO 1998).

El Convenio obliga a los países a proteger las especies animales y vegetales a través de la preservación de su hábitat y otros medios. Otro logro es el Grupo Intergubernamental sobre los Bosques y el Foro Intergubernamental sobre los Bosques (*http://www.un.org/esa/forests/ipf_iff.html*), dependientes ambos de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, quienes se han enfocado en propuestas para limitar la deforestación y generar más recursos para el sector forestal. Por otro lado, el Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología (*http://bch.cbd.int/protocol*), tiene como objetivo reducir los riesgos de los movimientos transfronterizos de seres vivos modificados a través de las fronteras y asegurar el uso seguro de las biotecnologías modernas. Este Protocolo se adoptó en enero del 2000 y ha sido ratificado por 17 países.

Sin embargo, el objetivo de proteger y conservar los ecosistemas y la biodiversidad están muy lejos de lograr los mínimos necesarios para evitar la extinción de diversas especies de fauna y flora, contener la expansión urbana y la reducción de la superficie destinada a mantener los ecosistemas naturales.

Además, los procesos de participación social en el diseño, elaboración y aplicación de los programas de manejo de las áreas naturales protegidas no son la regla, sino la excepción. En ellos predomina la concepción de los "especialistas" que ven en la participación de los diversos actores sociales un obstáculo y, en el mejor de los casos, son sólo útiles para cubrir el requisito que establece la Ley de Planeación Federal y la de la Ciudad de México en las decisiones "técnicas" de la zonificación y restricciones de uso, que en muchos casos propician procesos de deterioro más acelerado, como lo señalamos con la veda forestal para la ciudad. En este sentido, los programas de manejo de las áreas naturales protegidas en la entidad se han formulado más como un requisito administrativo que operativo; no obstante, han servido para confrontar y dar pie a la rendición de cuentas entre las instituciones y lo distintos actores que inciden en las áreas naturales protegidas (Melo 2002, Romero *et al.* 2002*a*, *b*).

Otro ejemplo se presentó en la década de los setentas, cuando el gobierno federal promovió la creación de la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario (CCDA) en la Ciudad de México, instancia que, no obstante ser precursora del ordenamiento de las

actividades en el ámbito rural a través del "Plan de usos de suelo agropecuario y forestal del Distrito Federal", propició la pérdida de terrenos forestales debido al apoyo para procesos de ganaderización y en consecuencia el desarrollo del mercado informal de tierras ejidales y comunales, que a la postre marcó las tendencias de cambio de uso de suelo para asentamientos humanos irregulares (Castañeda 2006).

En 1982, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del gobierno federal formuló la Ley Federal de Protección al Ambiente y, a partir de ésta, se promueve la creación de "ecoplanes", que son el primer instrumento de gestión ambiental que propicia la integración de conceptos ecológicos con los aspectos económicos de las actividades productivas relacionadas con los recursos naturales. Seis años más tarde, se formuló la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).

Desde la perspectiva del gobierno local, la sensación de protección de los recursos naturales de la Ciudad de México, propiciada por la veda forestal, originó un letargo en la política ambiental en esta entidad y no fue sino hasta finales de los setenta y principios de los ochenta que se retoma de manera más dinámica el quehacer del gobierno de la entidad en materia ambiental (Aguilar s/f, Sheinbaum 2008).

En lo que se podría decir como un cambio de estafeta, el gobierno federal puso en manos de la administración del Gobierno del Distrito Federal la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario, dando origen a la que se llamó Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural (COCODER), institución que debido a la amplitud de atribuciones heredadas no logró la conservación de los bosques, que siguieron perdiendo terreno ante las actividades agropecuarias y urbanas, producto de la histórica dependencia entre el campo y la ciudad y reafirmada por las políticas nacionales de los sexenios de los presidentes Luis Echeverría (1970-1976) y José López Portillo (1976-1982). Sin embargo, es de reconocerse que durante esta gestión se generó uno de los programas con mayor sustento técnico académico, el "Programa rector de uso del suelo y desarrollo agropecuario" (Velázquez *et al.* 1996, Del Roble Pensado 2001). En 1982, se establece la línea ecológica de conservación en la Ciudad de México, que más tarde, en 1987, decreta y delimita al suelo de conservación como una "barrera" para detener el avance de la mancha urbana, la cual se mantiene hasta nuestros días. Acerca de esta delimitación, se ha mencionado que no cumplió su objetivo, aunque tampoco se puede precisar qué situación prevalecería en las áreas delimitadas por esta línea de conservación de no haberse establecido (DDF 1987).

En un contexto de política ambiental más allá del suelo de conservación en 1989 se crean la Dirección General de Parques Urbanos y Protección Ecológica, la Comisión Ambiental Metropolitana y la Dirección de Regulación Ambiental, orientadas en un principio a la gestión de la calidad del aire y, más tarde, en el manejo de residuos sólidos.

Sin duda, la creación en 1994 de la Dirección General de Educación Ambiental constituyó una oportunidad para dar a conocer a los habitantes de la Ciudad de México la diversidad biológica presente en este territorio, situación que actualmente se ha revertido. El 90% de las personas encuestadas por esta dirección durante los meses de agosto a octubre de 2010 señaló no saber de la existencia del suelo de conservación y de las especies de flora y fauna más representativas (GDF 2010).

La creación de la Comisión de Recursos Naturales (Actualmente Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales), en sustitución de la COCODER, mejoró la atención de los bosques en la ciudad y por tanto la conservación de la biodiversidad; sin embargo, además de limitarse a un conjunto básico de programas sectoriales, no cuenta con recursos suficientes para intervenir con acciones de gobierno que reviertan o contengan la pérdida de bosques ante la

presión de los asentamientos humanos irregulares sobre el suelo de conservación[2] (Del Roble Pensado 2001).

Finalmente, el decreto en el año 2000 del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (GDF 2000) representó un avance en la conceptualización de la zonificación y usos que se enfoca en la conservación de la biodiversidad y las necesidades sociales del aprovechamiento de los recursos naturales. Sin embargo, a la fecha no se ha aprovechado para impulsar acciones y proyectos de gobierno que fortalezcan el ordenamiento territorial y actualmente se están rebasado las posibilidades de conservación y uso alternativo por una nueva dinámica de mayor presión urbana sobre el suelo de conservación.

Retos actuales

Los últimos cambios institucionales del gobierno local presentan ambigüedades y contradicciones con la conservación del ambiente y la biodiversidad. La creación de la Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades (SEDEREC), de ser un acierto que pretendía atender el abandono que tuvo durante más de seis décadas el desarrollo rural en la ciudad y la atención a las comunidades que poseen los bosques y áreas naturales, se convierte en una gestora activa de la urbanización de suelo de conservación, en parte esto sucedió por estar administrada por actores tradicionales que pertenecen a los movimientos sociales demandantes de suelo y vivienda.

Respecto a la política ambiental que maneja el agua y que sin duda ha tenido efectos adversos sobre la biodiversidad, se puede comentar que a partir de los primeros años de la década de los ochenta, en que concluye la política centralizada del gobierno federal y se transfiere a los estados la responsabilidad en el manejo del agua, en la entidad en un principio se tuvieron dos instituciones que presentaron duplicidad de funciones; la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). Estas instituciones se fusionan en enero del 2003, dando origen al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM). En los tres casos, la política ha sido la sobreexplotación, sin considerar el costo para la restauración natural; no obstante, la mejora en acciones para disminuir las fugas de agua, el reúso y las campañas de concientización para el mejor uso del agua, entre otras.

Además de la sobrexplotación de los mantos acuíferos existente en la Ciudad de México que reducen el caudal de manantiales y el detrimento de la vegetación, el entubamiento de los manantiales, una de las acciones frecuentemente realizadas por el SACM, tiene repercusiones directas sobre la fauna silvestre ya que la orilla a cambiar de hábitat.

Tenemos que aceptar, como lo sugieren algunos expertos, que las distorsiones del crecimiento urbano en nuestro país, como en otros, han producido megalópolis que rebasan con mucho las capacidades de los ecosistemas para sostener poblaciones tan grandes. Suárez-Lastra y Delgado (2010) señalan que los modelos de desarrollo urbano contemplan crecimientos y descensos cíclicos que se desplazan por regiones al interior de la metrópoli y a la región periurbana, que al final incrementarán el total de la población urbana.

La Ciudad de México (incluyendo su zona conurbada), con 21 millones de habitantes, de los cuales 8.8 millones corresponden a la ciudad (INEGI 2010), en una superficie de 2 000 km^2, y con una densidad de 110 hab/ha según Legorreta (2010), incrementará su población en las próximas dos décadas y su dinámica será de crecimiento en la periferia (municipios conurbados

[2] El establecimiento de una línea de conservación dentro de la Ciudad de México que sistemáticamente ha sido ignorada; la instauración y prosecución de programas parciales de desarrollo urbano que preservan dinámicas urbanizadoras viciadas de origen; el desgaste de la política de fomento al desarrollo sostenible debido a un proceso inacabado e ineficaz de descentralización política y administrativa de la ciudad; la aplicación limitada de instrumentos de regulación ecológica y las acciones públicas en el medio rural de carácter ambientalistas impotentes para romper el tradicional esquema burocrático clientelar entre las instituciones del Estado y la sociedad, demuestran que las políticas públicas ambientales en la Ciudad de México han negado la importancia de resolver la crisis de las relaciones campo-ciudad.

del Estado de México y delegaciones del sur a ciudad) y reducción en delegaciones centrales, según los modelos diferencial de teoría de urbanización (Geyer 1993) y ciudades dispersas (Dematteis 1998), citados por Suárez-Lastra y Delgado (2010).

Con base en estas proyecciones del crecimiento poblacional en tan sólo una parte de la cuenca de México y no en los 9 600 km^2 que la constituyen, se continuarán agravando los problemas de disponibilidad, suministro de agua potable y desalojo de aguas negras. También se incrementará la desigualdad social, ya que el crecimiento de los asentamientos humanos será en zonas sin infraestructura hidráulica, en suelo de conservación ecológica y por sectores de bajos recursos económicos, que además de estar expuestos a desastres naturales por los periodos de retorno de 5 a 30 años, como son las inundaciones y deslaves, no tendrán acceso al recurso hídrico de calidad y el costo será mayor. Ante esta situación, el paradigma de la gran obra hidráulica como lo desarrolla González (2008) se sostiene. Cambiar el modelo hidráulico de cuatrocientos años no es fácil.

Sin embargo, como lo propone Imaz (2010), el recurso hídrico debe asociarse con el ecosistema al que pertenece y ponderarse igual que los demás recursos naturales, destacando la biodiversidad, no sólo como insumo, sino como patrimonio cultural. La propuesta de agregar el costo del agua a la producción o más ampliamente el costo ambiental (huellas ecológicas) para la reproducción económica, permitiría incrementar la inversión en la conservación de los recursos naturales, entre ellos el agua.

Se podrían implementar acciones que de forma gradual y parcial atenderían la demanda de agua y drenaje fuera del modelo de "tuberías", con ecotécnias para captar agua potable de lluvia y reúso, sistemas de reciclamiento de desechos orgánicos con celdas solares (SIRDOS), etc.[3] No obstante, como los señala Domínguez (2000), la captación de agua en las azoteas representaría en el mejor de los casos 1 m^3/s y el déficit es de 7 m^3/s (Perló y González 2009). Además, la infraestructura para lograrlo sería muy costosa, sin contar las resistencias culturales al cambio de sistemas nuevos. Este problema es igual de complejo para sustituir el drenaje tradicional por los SIRDOS o biodigestores para viviendas en zonas lacustres o aledañas a cuerpos de agua, como lagos y ríos.

En este sentido, pensar sólo en un sistema cerrado de cuenca parece difícil de lograr al menos en el mediano plazo. Sin embargo, sumar la incorporación de nuevas tecnologías en asentamientos humanos irregulares, en zonas urbanas en procesos de consolidación y la obligación de su incorporación en el reglamento de construcción para las nuevas edificaciones, además de las campañas para crear una cultura de cuidado en el consumo de agua y el rescate de las microcuencas existentes en la Ciudad de México, como lo propone Legorreta (2010), podrían disminuir los riesgos de colapso ambiental, suministro y riesgos por fenómenos ambientales. Lo cierto es que vivimos en la incertidumbre al desconocer los datos reales en la disminución o no de los mantos acuíferos y no poder calcular cuándo ocurrirán los eventos pluviales, como los de 2010.

Tendríamos que partir de una política pública del agua[4] (PUEC-UNAM 2010) que considere ésta como una política social cuyo objetivo principal sea crear condiciones de equidad social y que garantice los derechos de la ciudadanía (Ziccardi 2008), reconociendo el derecho universal de accesibilidad al agua.

En el corto plazo, es evidente que las acciones anteriores disminuirían la necesidad de traer agua de fuentes externas a la cuenca y dar tiempo a la generación de estudios y el monitoreo permanente del "balance hídrico"

[3] Propuestas como las del Dr. Oscar Monroy de captación de agua e infiltración a los mantos acuíferos como son los pozos de captación de agua pluvial.

[4] Asumimos la definición del documento "Evaluación externa del diseño e implementación de la política de acceso al agua potable del CDF, Versión Diplomado, PUEC-UNAM, 2010. "Como un conjunto complejo de programas, procedimientos y regulaciones que concurren a un mismo objetivo general, un sistema concatenado y sinergético de los mismos, que requiere del desarrollo de importantes procesos de coordinación y articulación para lograr el cumplimiento de su misión"

en las cuencas. De no ser posible, deberá asumirse el costo de realizar las grandes obras hidráulicas de trasvase al que están asociados intereses económicos y las acciones de concertación con los diferentes gobiernos, promoviendo las comisiones interinstitucionales en donde la participación de los diferentes actores sociales y la ciudadanía permitan los acuerdos que hagan viable los megaproyectos. Y asumir que el patrimonio del agua es un mecanismo de inclusión simbólica (Azuela 2010); si bien es un patrimonio nacional, ante la competencia política, el agua hoy es del propietario de la tierra y tendrá que considerarse en la agenda del agua, los pactos urbano-rural y la compra-venta del agua.

Para esto, es necesario abordar el tema con una visión regional como lo proponen Perló y González (2006), en la región hidropolitana asumiendo las cuatro cuencas hidrológicas que los sistemas de abasto y desalojo de agua han unificado funcionalmente. También se requiere considerar los movimientos de resistencia, los nuevos marcos jurídicos y modificar el discurso oficial del "miedo"[5] (Foucault 2001), por el de información y atención puntual de la demanda (Perló 2011).

Partir de esta visión espacial es conveniente ya que corresponde al poblamiento histórico de las cuencas y la delimitación regional (operación, administración, planeación, resolución de problemas; Delgado 2007). Los problemas los tenemos en las zonas de "traslape" y los límites político administrativos Delgado (2007) que la propuesta espacial atiende al proponer una mesoregión.

Una de las políticas más integrales es el rescate de ríos y zonas de valor ambiental como Xochimilco. Ésta podría influir en la recarga de los mantos acuíferos y evitar los hundimientos diferenciales de los terrenos, pero debe aclararse que la conservación y rescate, en el caso de Xochimilco, no es sólo en la zona lacustre, sino en la montaña, ya que ha perdido vegetación por la deforestación a causa de la expansión de la frontera agrícola y el crecimiento de asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación. En realidad se debe de promover la conservación y rescate de los bosques de las siete delegaciones del sur que constituyen la zona fundamental de recarga de los acuíferos junto con los municipios colindantes del Estado de México y Morelos.

Como lo señala Delgado (2003), desde la perspectiva económica, el reforzamiento de áreas agrícolas y su conversión de alimentos forrajeros a hortícolas y florícolas, combinados con el autoconsumo de subsistencia, propicia el cambio del uso del suelo de áreas de conservación ecológica en áreas de producción rural agroindustrial, aumentando la fragmentación y dando como resultado que los espacios de valor ambiental (ríos, zona lacustre y bosques) en la fase actual del desarrollo urbano constituyan la zona de mayor presión en el modelo de crecimiento urbano difuso en el suelo de conservación de la Ciudad de México.

En lo social, la difusión espacial de lo urbano se expresa en el aprovechamiento de los recursos naturales para la recreación, exigencia de mayor calificación de la fuerza de trabajo rural y una mezcla de formas de vida urbana en ámbitos rurales. Sin duda, en este proceso encontramos algunas de las alternativas para la conservación de las áreas de valor ambiental. La recuperación y restauración de los ríos, canales y chinampas permitiría aprovechar los valores del paisaje y la relación con la naturaleza.

Los casos del Plan Maestro del Río Magdalena,[6] elaborado por González *et al.* (2010), y el Plan de Maestro Xochimilco, elaborado por Méndez y Caraballo (2006), son experiencias exitosas de planeación urbana participativa de dos zonas relacionadas con el agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que presentan resultados realistas. En el caso de Xochimilco, que expondría por ser el que

[5] En el sentido que lo plantea Foucault en Vigilar y castigar.

[6] Confrontar con González *et al.* Rescate de ríos urbanos Propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos. CH-PUEC-UNAM, 2010.

conocemos, deriva de una política de conservación del patrimonio cultural.

El Plan Integral o Maestro UNESCO-Xochimilco constó de cuatro fases, dentro del convenio de colaboración técnica firmado entre la Representación de la UNESCO en México y el Gobierno de la Ciudad de México en Xochimilco. El Plan se desarrolló en un proceso largo de participación social de 2003 al 2006, y permitió identificar seis líneas centrales para la conservación del bien, identificación de escenarios prospectivos para cada una de ellas y tareas asociadas a ejecutar en diferentes niveles de gobierno, reconociendo las atribuciones y acciones que se adelantan desde el Estado y de las organizaciones ciudadanas comprometidas con el proceso. Estas líneas estratégicas fueron:

1. Patrimonio cultural, apropiación y educación.
2. Manejo del agua.
3. Producción y comercialización agrícola chinampera.
4. Turismo como actividad sostenible.
5. Ordenamiento urbano y accesibilidad.
6. Sistema de gestión y financiamiento.

A diferencia de otros planes de conservación y manejo que se caracterizan por presentar programas y acciones por unidades de zonificación, se construyeron las estrategias de una manera global y sistémica, tomando como base las seis prioridades de actuación. En total, se identificaron 33 estrategias; de ellas, 7 correspondieron a manejo de agua, 4 a uso sustentable y comercialización agrícola, 5 a turismo y recreación, 9 a ordenamiento territorial y accesibilidad, 4 para la gestión participativa del sitio y 4 a patrimonio y apropiación cultural, para un total 226 programas y proyectos por ser desarrollados y ejecutados en 12 años.

Dichos programas y proyectos se distribuyen en el corto, mediano y largo plazo, tomando en consideración prioridades, tiempos administrativos, tiempos de captación de recursos, así como la necesidad de desarrollar muchos de los proyectos indicados, los cuales sólo están en los archivos institucionales como propuestas generales.

Destaca la propuesta del diseño institucional de un sistema de gestión participativo y la creación de una unidad de gestión que tendría el objetivo de propiciar la interlocución entre las agencias gubernamentales y los actores sociales, en torno a los lineamientos generales acordados en el Plan.

En el Plan se enfatiza la línea estratégica de manejo del agua, se reconocen cuatro dinámicas que afectan la conservación de la zona chinampera: el desecamiento de los humedales, la sobrexplotación del acuífero, la contaminación de agua en canales y apantles, así como problemas relacionados con el perfil de los canales y su manejo hidráulico.

El problema del desecamiento es la pérdida de los afluentes naturales, ríos y manantiales y en la actualidad la insuficiente agua tratada por la planta del Cerro de la Estrella y la contaminación por los 2 mil drenajes clandestinos, hasta el 2001 se extrajo agua de pozos para la ciudad. Actualmente se tienen 24 pozos con una capacidad total de 700 a 800 l/s que cubren las necesidades de los 420 mil habitantes de Xochimilco.[7] Las 2 657 ha del área de valor ambiental y sus 207 km de canales sobreviven con 0.9 m3/s de agua tratada por SACM, situación que tiene contemplado mejorar en volumen y calidad para actividades recreativas a partir de una ampliación de la Planta de tratamiento comprometida con el Proyecto UNESCO-Xochimilco.

Si bien el caso de Xochimilco es un ejemplo de diversas actividades de planeación con altos costos de inversión, en el que las líneas estratégicas, acciones y actividades propuestas distan mucho de ser realizadas de acuerdo con el Plan Maestro, las demás áreas naturales y su extraordinaria riqueza biológica en la Ciudad de México padecen la misma situación de impacto y deterioro, reduciéndose significativamente

[7] Información proporcionada por el Ing. Alejandro Martínez (SACM, diplomado, 13 de noviembre 2010).

los bienes y servicios (directos e indirectos) que éstas ofrecen (Velázquez y Romero 1999).

Como dato final, es importante mencionar que, como un resumen histórico de este análisis de los programas ambientales y política pública del Gobierno de la Ciudad de México en la conservación de la biodiversidad en la entidad, estudios recientes demuestran que las áreas naturales y sus recursos de flora y fauna silvestres están protegidos por diversos acuerdos y decretos oficiales, y que 92% de la superficie en donde estos se encuentran tiene algún tipo de protección legal; sin embargo, en los últimos 50 años un tercio de esta superficie forestal y agrícola se ha visto afectada por la deforestación y el cambio de uso de suelo (Romero y Reygadas 2008).

Conclusiones

El "vacío" en la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad provocado por la declaratoria de la veda forestal ha tratado de subsanarse en las últimas dos décadas, aunque, en algunos casos se ha sobrerregulado y en otros se observan incentivos perversos entre programas institucionales que dificultan la conservación de los recursos naturales en la Ciudad de México.

Las áreas naturales y sus recursos de agua, suelo, flora y fauna silvestres de la ciudad han sido protegidos en diversos periodos gubernamentales sólo de manera nominal por diversos acuerdos y decretos. Sin embargo, un tercio de esta superficie forestal y agrícola se ha visto afectada por la deforestación y el cambio de uso de suelo. Lo cual ha reducido significativamente no solamente los bienes y servicios que históricamente estos recursos naturales han brindado a los pobladores de la región y de la Ciudad de México, sino que al mismo tiempo se ha afectado la gran riqueza biológica que aquí existe y representa en la actualidad 2% de la diversidad mundial. Las diversas políticas públicas que se han desarrollado desde entonces han permitido contar con los fundamentos más básicos y legales para la protección y conservación de estos recursos naturales, pero el fracaso se ha tenido en su seguimiento, vigilancia y aplicación.

Por otra parte es necesario definir claramente una imagen objetivo de los recursos naturales presentes en la entidad y reorientar los programas estatales y federales en dicho sentido, ya que en la Ciudad de México las condiciones de los ecosistemas naturales y socioculturales no siempre pueden encajarse los términos de referencia y reglas de operación de carácter federal, ni en el contexto tradicional de conservación y protección forestal.

Por último, es preponderante hacer del conocimiento de los habitantes la existencia e importancia del suelo de conservación y su biodiversidad.

Referencias

Aguilar, Z.E. s/f. México forestal: Compilación, estudios y notas. En: *<http://148.243.232.100/forestal/>*, última consulta: 30 de abril de 2012.

Azuela, A. 2010. La hechura jurídica de la urbanización. Notas para la historia reciente del derecho urbanístico en México. pp. 585-616. En: *Los grandes problemas de México. Desarrollo urbano y regional.* (coords. G. Garza y M. Schteingart (coords.). El Colegio de México. México.

Carrión, F. 2012. Espacio público: punto de partida para la alteridad. En: *<http://www.flacso.org.ec/docs/artfcalteridad.pdf/>*, última consulta: 30 de noviembre de 2012.

Castañeda, R.J. 2006. Las áreas naturales protegidas de México de su origen precoz a su consolidación tardía. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona. Vol. x. Núm. 218.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1998. *La diversidad biológica de México: Estudio de País*. México.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2014. Estrategia de Cambio Climático para las Áreas Protegidas. conanp/semarnat, México.

Del Roble Pensado, L.M. 2001. *El desafío rural del siglo XXI para el Distrito Federal*. Estudios Agrarios. 16:39-66. En: *<www.pa.gob.mx/publica/Pa071601.htm>*

Delgado, C.J. 2003. La urbanización difusa, arquetipo territorial de la ciudad-región. *Sociológica*, año 18. 51:13-48.

——. 2007. *El reposicionamiento de las ciudades y regiones urbanas en una economía global: ampliando las opciones de políticas y gobernanza*. Columbia University. Saskia Sassen 3:9-34.

Dematteis, G. 1998. Suburbanización y periurbanización. Ciudades anglosajonas y ciudades latinas. En: *La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias.* F.J. Monclús (eds.). Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona, España.

De la Maza, R. 1999. Una historia de las áreas naturales protegidas en México. *Instituto Nacional de Ecología. Gaceta Ecológica*. 51:15-34.

DDF . Departamento Del Distrito Federal. 1987. Declaratoria de la línea limítrofe entre el Área de Desarrollo Urbano y el Área de Conservación Ecológica, 16 de julio de 1987.

Domínguez, M.R. 2000. Las inundaciones en la Ciudad de México. Problemática y alternativas de solución. *Revista Digital Universitaria. Vol. 1. No. 2*. En: *<http://www.revista.unam.mx/vol.1/num2/proyec1/>*, última consulta: 9 de agosto de 2012.

Foucault, M. 2001. *Vigilar y castigar: nacimiento de la prisión*. Editorial Siglo XXI. México.

Geyer, H.S. y T. Kontuly. 1993. Una fundación teórica para el concepto de diferencial de urbanización. En: *Science Regional internacional Review*, 15, 3:157-177.

GDF. Gobierno del Distrito Federal. 2010. Actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. Informe Técnico. Fase de Consulta Pública (inédito).

——. 2000. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. Publicada el 8 de agosto del 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal.

González, R.A. 2008. Seguimiento de la nueva política del agua en México 1983-1989. En: *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*. D. Soares, S. Vargas y M. Nuño (eds).

González, R.A., *et al.* 2010. *Rescate de ríos urbanos: propuestas conceptuales y metodológicas para restauración y rehabilitación de ríos*. PUEC/UNAM. México.

Imaz, G.M. 2010. Biodiversidad. Ciencia de boleto. Núm. 14. GDF/UNAM. México.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Censo Nacional de Población y Vivienda. En: *<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&e=9>*, última consulta: abril de 2012.

Legorreta, J. 2010. Ríos, lagos y manantiales del Valle de México, UAM/GDF. Exposición en diplomado.

Melo, C. 2002. Áreas Naturales Protegidas de México en el Siglo XX. Instituto de Geografía, UNAM. Temas Selectos de Geografía de México. Textos monográficos, Núm. 6. Medio ambiente.

Méndez, S. y C. Caraballo. 2006. *Plan Integral y Estructura de Gestión de la Reserva Ecológica de Xochimilco, como sitio inscrito en la lista de Patrimonio Mundial de la* UNESCO. Gobierno del Distrito Federal-Gobierno Delegacional de Xochimilco-Oficina de la UNESCO en México, Diciembre de 2006.

Perló, M. y González, A. 2009. *¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México*. CH-PUEC-UNAM/Fundación Friedrich Ebert. México.

——. 2006. Conflictos sociales y gubernamentales en la región hidropolitana del centro del país. En: *Problemas socio-ambientales y experiencias organizativas en las cuencas de México*. S. Vargas y E. Mollard (eds.). México, pp. 128-147.

Perló, M. 2011. ¿Cómo podemos recuperar la sustentabilidad hídrica en la Cuenca de México? Pp.191-215. En: *Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades.* Aguilar y Escamilla Coordinadores. Instituto de Geográfia-UNAM/CONACYT, Porrúa.

PUEC-UNAM. Programa de Estudios Universitarios sobre la Ciudad-Universidad Nacional Autónoma de México. 2010. Evaluación externa del diseño e implementación de la política de acceso al agua potable del GDF. PUEC-UNAM. México. Versión Diplomado.

Romero, F. J. *et al.* 2002*a*. Programa de Manejo: Proyecto Ejecutivo para la Restauración Ecológica del Área Natural Protegida "Sierra de Santa Catarina". Reporte de Investigación. CORENA/SMA/GDF. México.

——. 2002*b*. Programa de Manejo: Proyecto Ejecutivo para la Restauración Ecológica del Área Natural Protegida "Sierra de Guadalupe". Reporte de Investigación. CORENA/SMA/GDF, México.

Romero, F.J. y D. Reygadas P. 2008. Zonificación para la conservación de los Bosques del sur de la Cuenca de México, Sureste de la Cuenca del Lerma y norte de la Cuenca del Balsas. Informe Final de Investigación (cartográfica). GreenPeace / Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre, UAM-Xochimilco. México.

Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1947. Decreto por el cual se declara veda total indefinida de recuperación y de servicio para todos los bosques del Estado de México y del Distrito Federal. Publicado el 29 de marzo de 1947, en el Diario Oficial de la Federación.

Sheinbaum, C. 2008. *Problemática ambiental de la Ciudad de México*. México. Limusa.

Soberón, J., E. Ezcurra y J. Larson. 1996. Áreas protegidas y conservación in situ de la biodiversidad de México. Instituto Nacional de Ecología. *Gaceta Ecológica, Instituto Nacional de Ecología* 41:7-15.

Suárez-Lastra, M. y C.J. Delgado. 2010. Patrones de movilidad residencial en la ciudad de México como evidencia de co-localización de población y empleos. Pontificia Universidad Católica de Chile. *EURE* 36:67-91.

United Nations Forum on Forests. En: <*http://www.un.org/esa/forests/ipf_iff.htm*>, última consulta: 30 de abril de 2012.

Velázquez, A., F.J. Romero y J. López-Paniagua. 1996. E*cología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat*. Ediciones Científicas Universitarias. UNAM/FCE. México.

Velázquez, A. y F.J. Romero.1999. *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico*. SMA/GDF/UAM-X. México.

Ziccardi, A. 2008. *Procesos de urbanización de la pobreza y nuevas formas de exclusión social. Los retos de las políticas sociales de las ciudades latinoamericanas del siglo XXI*. Siglo del Hombre Editores, CLACSO-CROP, Bogotá.

El estudio de la biología y las instituciones de educación superior

María Eugenia González Díaz
Andrea Cruz Angón

Introducción

En la presente contribución se hace un recuento de las instituciones académicas que cuentan con programas de educación formal a nivel superior para la carrera de biología en la Ciudad de México. Cabe señalar que no existen programas de educación que se enfoquen exclusivamente en formar científicos o académicos que estudien la biodiversidad, algunas carreras más generales contemplan materias que abordan este tema. Sin embargo, se consideró importante hacer un análisis de la oferta educativa que se tiene en la Ciudad de México.

Los inicios

Durante el gobierno de Porfirio Díaz, en 1881, Justo Sierra presentó a la Cámara de Diputados el proyecto de creación de una universidad mexicana, pensada como una institución colegiada, organizada y nacional. La propuesta no se cristalizó sino hasta 1910, con la creación de la Escuela Nacional de Altos Estudios (ENAE), cuya misión era formar profesores y especialistas con conocimientos científicos. La enseñanza de la ciencia, que incluía la biología, fue incorporada en la sección de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Ruíz 1967) y se expedía el título de profesor académico en Ciencias Naturales. En 1924, la ENAE se convierte en la Facultad de Filosofía y Letras (González 1994).

De acuerdo con diversos autores (UNAM 1992, Cifuentes *et al.* 1997, Ledesma y Barahona 1999), la primera cátedra de biología fue impartida por Alfonso Luis Herrera en 1902 y se eliminó en 1906. Para 1911, la ENAE impartía cursos de botánica, zoología y microscopía, y en 1915 se funda la Dirección de Estudios Biológicos (DGEB) de la Secretaría de Fomento.

En 1929, la Universidad Nacional se convirtió en autónoma y ese mismo año se fundó el Instituto de Biología, al que se incorporó toda la obra que se había realizado desde 1888 en la Escuela Nacional de Altos Estudios, la Facultad de Filosofía y Letras y la Dirección de Estudios Biológicos. Más tarde, en 1930, la Facultad de Filosofía y Letras creó el departamento de Ciencias, organizándose el programa para obtener grados académicos de maestro y doctor en Ciencias Biológicas. En 1939, este departamento se transformó en la Facultad de Ciencias, dentro de la cual se estableció la carrera de biología (Ledesma y Barahona 1999).

En 1935 fue creado el Instituto Politécnico Nacional (IPN), perteneciente a la Secretaría de Educación Pública (SEP) y en 1937 se incorporó la Escuela de Bacteriología, Parasitología y Fermentaciones, que en 1938 se transformó en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, a partir de lo que se creó la carrera de biología (IPN 2010, León 2002). Asimismo, en respuesta a la necesidad de atender la creciente demanda de

González-Díaz, M.E. y A. Cruz-Angón. 2016. El estudio de la biología y las instituciones de educación superior. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 263-271.

estudiantes egresados del nivel medio en la zona metropolitana de la ciudad, en 1973 se creó la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), en la que desde su fundación existen el departamento y la carrera de biología (Cifuentes *et al.* 1997, UAM 2011).

La actualidad

En el nivel medio superior (preparatoria) se imparte biología como materia obligatoria en los primeros semestres y continúa su enseñanza en los últimos, cuando se elige el área biológica, en la que se aborda el tema de la biodiversidad de manera general. Los Centros de Bachillerato Tecnológico pertenecientes a la Secretaría de Educación Pública (SEP) que se encuentran en la Ciudad de México no ofrecen carreras técnicas afines a la ciencia biológica y biodiversidad (agropecuaria, forestal, de ciencia y tecnología del mar), sino que son centros de estudios enfocados a las áreas tecnológicas industriales y de servicios (CETIS). No existe en la página de la Dirección General de Tecnologías e Información (DGTI) una explicación para esto, lo que se puede inferir es que la educación tecnológica en la ciudad está más orientada a actividades que son afines a las demandas económicas, productivas y laborales de la entidad (SEP 2009).

En cuanto a la educación superior, la Ciudad de México tiene la más amplia oferta educativa del país en áreas relacionadas con la biología. Existen tres instituciones públicas y una privada que imparten en sistema escolarizado la carrera de biología y otras carreras relacionadas (cuadro 1), e incorporan materias como zoología, botánica, recursos naturales y zoogeografía, abordando el estudio y comprensión de la biodiversidad de manera indirecta. No existen materias específicas sobre biodiversidad, pero sí sobre el conocimiento y manejo de los recursos biológicos. Como se muestra en el cuadro 1, la carrera de biología se imparte en seis campus que cubren las zonas norte, sur y este de la Ciudad de México, además de la zona conurbada del Estado de México. La duración de los estudios varía entre cuatro y cuatro años y medio, impartidos en semestres o trimestres de acuerdo a la institución (IPN 2014, UAM 2014 y UNAM 2014).

Además de la información del cuadro 1, otras facultades de instituciones públicas y privadas que atienden áreas del conocimiento, como ciencias sociales y fisicomatemáticas, han comenzado a abordar de manera incipiente materias que tienen relación con el medio ambiente, los recursos naturales y, en algunos casos, con el estudio de la biodiversidad, como se muestra en el cuadro 2.

En la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), en la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), en la Facultad de Filosofía y Letras (FFL) y en el Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA; estos dos últimos como parte de la UNAM), si bien no se identifican materias específicas de biología o ecología, se estudian las relaciones de la sociedad con el medio ambiente (y la biodiversidad de manera indirecta) en diferentes especialidades. Esto incluye también talleres y proyectos, en los que, por ejemplo, se estudian las especies que aprovechan ciertas comunidades locales, sus usos (tradicionales, alimenticios, culturales, entre otros), lo cual complementa el conocimiento en estos temas.

Otras alternativas educativas las constituyen los cursos formales y no formales, con modalidades presenciales, en línea o mixtas, que se imparten periódica o permanentemente en diversas instituciones; por ejemplo, en el Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América A.C. (CICEANA),[1] donde se imparten cursos no formales dirigidos a todo público, en rubros como agricultura orgánica con fines alimenticios, medicinales u ornamentales con un enfoque de sustentabilidad (CICEANA 2010). El Centro de Estudios Jurídicos y Ambientales A.C. (CEJA),

[1] Institución de la sociedad civil constituida a partir de la firma del Tratado de Libre Comercio entre México, Canadá y Estados Unidos.

Cuadro 1. Instituciones de educación superior que imparten biología y otras carreras cuyos programas de estudio incorporan asignaturas afines al tema del conocimiento y manejo de los recursos biológicos.

Institución	Sedes que imparte la carrera de Biología y otras afines	Carreras relacionadas con el estudio de los recursos biológicos
Universidad Nacional Autónoma de México UNAM (Pública)	Facultad de Ciencias (B)	Biología (8 semestres)
	Facultad de Estudios Superiores (FES) Iztacala *(B)	Ciencias de la tierra**
	FES Zaragoza (B)	Manejo sustentable de zonas costeras
	FES Aragón	Planificación para el desarrollo agropecuario
	FES Cuautitlán *	Medicina veterinaria y zootecnia
		Ingeniería agrícola
		Geografía ***
Instituto Politécnico Nacional IPN (Pública)	Ciencias Biológicas (B)	Biología (9 semestres)
		Ingeniería en Sistemas Ambientales (9 semestres)
Universidad Autónoma Metropolitana UAM (Pública)	UAM – Xochimilco (B)	Biología (12 trimestres)
	UAM – Iztapalapa (B)	Biología experimental
	UAM - Azcapotzalco	Hidrobiología
		Producción animal
		Medicina veterinaria y zootecnia
		Agronomía
Universidad Simón Bolívar USB (Privada)	Mixcoac	Biología (8 semestres)
Universidad del Valle de México UVM (Privada)	Coyoacán	Medicina veterinaria y zootecnia

Alumnos que viven en la Ciudad de México y les resulta más cercano asistir a estas sedes. **Carrera de reciente creación (2010), se imparte en la facultad de Ciencias.
***Carrera que se imparte en sistema escolarizado y abierto en la UNAM.
(B) Campus que imparten la carrera de biología.
Fuente: elaboración propia a partir del Catálogo de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) (2006, 2007, 2009) y de los portales electrónicos de las instituciones.

ofrece periódicamente un diplomado en Derecho y Gestión Ambiental, que incluye en su temática la biodiversidad y cómo se legisla su conservación y aprovechamiento, así como cursos presenciales y en línea sobre normatividad e impacto ambiental (CEJA 2010). Instituciones que imparten la carrera de biología, periódicamente también ofrecen diplomados y cursos en los que se toca el tema de la biodiversidad desde distintas perspectivas, el Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA) de la UNAM es un ejemplo de ello, entre otros.

También es importante mencionar que el Gobierno de la Ciudad de México cuenta con su Instituto de Ciencia y Tecnología (ICYTDF), cuya misión es apoyar el fortalecimiento de capacidades científicas, tecnológicas y de innovación de las instituciones y centros de investigación radicados de esta entidad federativa. Esta institución opera su Programa Estatal de Ciencia y Tecnología, que incorpora educación no formal y atiende los temas de *1*) educación, ciencia y sociedad ciudad y *2*) salud, medio ambiente y biotecnología, los cuales se han aterrizado en diversos proyectos que van dirigidos a reducir los niveles de contaminantes y gases de efecto invernadero, así como proteger las áreas verdes dentro de la ciudad, contribuyendo a la conservación de su biodiversidad. El ICYTDF reporta que en la Ciudad de México se concentran 44% de los 12 096 mil integrantes del Sistema Nacional

Cuadro 2. Instituciones que imparten carreras que incorporan al menos una asignatura obligatoria u optativa relacionada con la biología.

Institución	Carrera	Materias
UAM	Ingeniería ambiental	Obligatorias: Ecología y sistemas ambientales.
		Optativas: Recursos y medio ambiente; Desarrollo y contaminación ambiental
	Arquitectura	Arquitectura y medio ambiente
	Planeación territorial	Ambiente natural I, II y III
UNAM Facultad de Filosofía y Letras	Geografía	Obligatorias: Recursos naturales [1], Biogeografía. Optativas: Ecología, Geografía ambiental, Naturaleza y sociedad, Ordenamiento y gestión ambiental, Zoogeografía y recursos naturales [2]
UNAM Facultad de Ingeniería	Ingeniería geofísica	Optativas: Geología ambiental-restauración
	Ingeniería geológica	Obligatoria: Paleontología Optativas: Temas selectos ambientales
UNAM Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	Relaciones internacionales	Optativa: Medio ambiente y desarrollo
UNAM Facultad de Arquitectura	Urbanismo	Economía y Gestión ambiental (optativas)
	Sociología	Optativas: Desarrollo sustentable, Medio ambiente y sociedad. Consideran una línea de trabajo para el rubro ambiental[1]
UNAM Facultad de Economía	Economía	Optativas: Economía agrícola y Economía del medio ambiente[2]
Tecnológico de Monterrey	Ingeniero en desarrollo sustentable	Obligatorias: Ciencias naturales y desarrollo sustentable, Ecosistemas y biodiversidad, Manejo de recursos naturales y Cambio climático

[1] Dentro de las líneas de investigación se incluye una denominada Sociología ambiental, Proyecto de investigación en desafíos ambientales en Xochimilco, así como ambiente, sustentabilidad y desarrollo.
[2] Dentro de la líneas de investigación tutoriales, existe un segmento de medio ambiente y recursos en el que se estudian importantes aspectos que consideran a la biodiversidad, tales como: análisis económico de las áreas naturales protegidas, análisis y preservación de economías naturales, crecimiento económico sustentable, economía ambiental, economía de los recursos naturales, economía y ecología, economía y medio ambiente, recursos naturales no renovables, recursos naturales y medio ambiente y recursos naturales estratégicos para la acumulación de capital (biodiversidad y agua), entre otras que pueden ser un poco más indirectas.
Fuente: elaboración propia a partir de la información de los programas de estudio que se encuentran en los portales electrónicos de las universidades que se reportan IPN, UAM, UNAM y Universidad Simón Bolívar s/f.

de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) [2], además se registra 50% de los investigadores del país, 34% de los programas de posgrado y 62% de los estudiantes de posgrado.

Poblaciones escolares

De acuerdo con la SEP y la ANUIES (2009), las estadísticas por áreas de estudios y régimen (público o privado) de las poblaciones escolares en la Ciudad de México muestran que en las ciencias naturales y exactas existe una matrícula de 12 905 estudiantes, de los cuales 11 801 alumnos se encuentran adscritos a escuelas públicas y 1 104 en escuelas privadas.[3] En el área de las ciencias agropecuarias 100% (4 783) de la población está adscrita en escuelas públicas (figura 1).

Estudios de posgrado

La oferta y demanda de estudios de posgrado, así como las líneas de trabajo e investigación,

[1] El SNI es un padrón que incluye a los tecnólogos e investigadores dedicados a producir conocimiento científico y tecnología. El reconocimiento se otorga a través de la evaluación por pares y consiste en otorgar el nombramiento de investigador nacional.

[3] La inversión en sistemas educativos en México es alto, corresponde al 5.7 de los ingresos nacionales, sin embargo esta se reparte entre mayor número de estudiantes, lo que se traduce en que el gasto por alumno sea uno de los más bajos para países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (UNAM 2011).

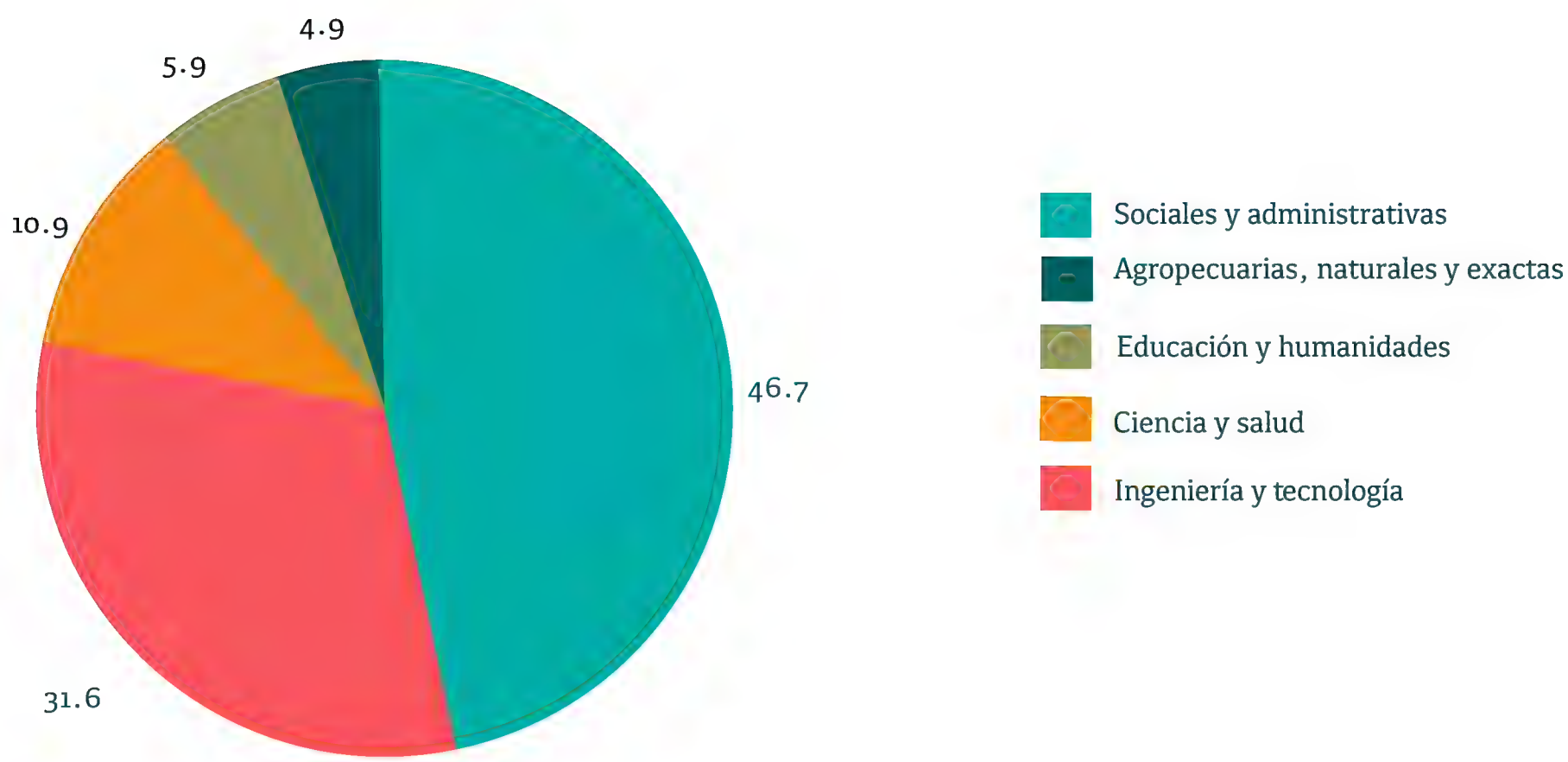


Figura 1. Porcentajes nacionales de la matrícula de estudiantes por áreas de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de la información de la ANUIES 2009.

son amplias (cuadro 3). Entre las instituciones que ofrecen y promueven programas de posgrado, se puede optar por modalidades públicas y privadas. Inclusive algunas de carácter internacional, como la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).[4] Si bien es una institución eminentemente del área de las ciencias sociales, entre sus líneas de investigación formales está la ambiental, en la que se maneja la relación socioambiental, así como los procesos involucrados en la producción y gestión de las formas de acceso a recursos vitales (FLACSO 2010). El Instituto de Biología (IBUNAM, y el Jardín Botánico que depende directamente de él) y el Instituto de Ecología son entidades académicas de la UNAM muy importantes en estudios de posgrado, entre las funciones del IBUNAM están la de desarrollar investigación científica sobre la biología de los organismos y promover la conservación de la biota y los ecosistemas, así como apoyar los estudios de posgrado. El Instituto de Ecología impulsa el desarrollo de la ecología como disciplina científica, participa en los programas docentes de licenciatura y como entidad de los programas de doctorado[5] en Ciencias Biomédicas y posgrado en Ciencias Biológicas.[6]

Incorporación al campo laboral y remuneración

Los campos ocupacionales de los biólogos y de carreras afines refieren, en nivel de importancia, al sector público (entidades gubernamentales), a la docencia y la investigación, así como al sector privado. Las actividades profesionales son variadas e involucran la gestión de recursos naturales, la conservación, y la aplicación de técnicas y tecnologías relativas al área biológica, la educación, las consultorías en aprovechamiento de recursos, entre otras. De acuerdo con el Observatorio Laboral de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), la biología no figura entre las carreras más representativas de la Ciudad de México (STPS 2010).

[4] Organismo autónomo creado en el marco de la Conferencia General de 1975 de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Agrupa a 17 países de la región, con sedes en 10 de ellos, entre las que se encuentra la Ciudad de México.

[5] Para los programas de doctorado en el área de ciencias naturales y exactas se reportan 1 424 alumnos inscritos, más 50 del área agropecuaria que representan 44.8% y 9.4 respectivamente del total nacional (SEP 2011).

[6] Gran parte de los estudiantes de posgrado solicitan becas al CONACYT, ICYTDF y otras instituciones financiadoras.

Cuadro 3. Instituciones académicas que ofrecen estudios de posgrado afines al tema de recursos naturales o biodiversidad (bajo la modalidad presencial).

Institución	Materias
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social	Maestría -Territorio y sociedad[3]
El Colegio de México / Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales	Programa LEAD (Programa de Estudios Avanzados en Desarrollo y Medio Ambiente)*
	Doctorado en Estudios Urbanos y Ambientales
UAM Azcapotzalco	Maestría en ciencias e ingeniería ambiental
UAM Xochimilco	Maestría en ciencias agropecuarias
	Maestría en Bioética
	Doctorado en ciencias biológicas
UAM – Iztapalapa	Especialización en biotecnología
	Maestrías en biología y biología experimental
	Doctorado en biotecnología y ciencias biológicas
UNAM (Instituto de Biología, Instituto de Ecología, Facultad de Ciencias, FES Iztacala**, FES Zaragoza)	Maestro en ciencias biológicas (Biología experimental, ambiental, restauración ecológica y sistemática)
	Doctorado en ciencias biológicas
UNAM – Facultad de Economía	Especialización en economía ambiental y ecológica
	Maestría en biología y ecología
IPN - Ciencias Biológicas	Doctorado en ciencias e ingenierías ambientales
	Doctorado en ciencias del manejo de recursos marinos
	Doctorado en ciencias en biotecnología
	Maestría en biociencias
IPN – CIIEMAD	Maestría en ciencias en estudios ambientales y de la sustentabilidad
	Maestría en gestión y auditorías ambientales (FUNIBER)
	Doctorado en medio ambiente y desarrollo
CINVESTAV	Maestría en manejo agroecológico
FLACSO	Maestría en población y desarrollo
Universidad Autónoma de la Ciudad de México	Maestría en educación ambiental
Universidad Pedagógica Nacional	Maestría en desarrollo educativo
	Especialización en educación ambiental
Universidad Iberoamericana	Programa de medio ambiente
Universidad Simón Bolívar	Maestría en ciencias ambientales
Universidad Panamericana/Instituto de Investigaciones sobre Desarrollo Sustentable y Equidad Social	Especialidad en derecho ambiental

[3] Se aborda el estudio de los planes de desarrollo regional y los esquemas de conservación de recursos naturales.
*Programa Internacional sin fines de lucro que opera en 90 países para la formación de líderes en desarrollo sustentable, es operado en México por el Colegio de México (COLMEX 2010).
**Se ubica en la zona conurbada al Distrito Federal, en el municipio de Tlalnepantla, Estado de México.
Fuente: elaboración propia a partir del catálogo de posgrado en universidades e institutos tecnológicos de la ANUIES 2006.

Por otro lado, el Observatorio Laboral reporta que en la entidad, para el 2013 había 23 433 personas ocupadas que estudiaron biología, cuyo ingreso promedio es de $17 617, lo que sitúa esta carrera en el tercer lugar en nivel de ingreso respecto al resto de los estados. Asimismo, las personas que estudiaron biología y han encontrado trabajo (independientemente que no sea acorde con sus estudios), aumento de 20 475 en 2012 a 23 434 en 3013 (OLA 2014).

Sin embargo, de acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el escenario laboral para los profesionistas en el nivel nacional, independientemente de la carrera de la que egresen, no es alentador, e inclusive se pronostica que se recrudecerá, ya que no existe suficiente generación de empleo (STPS 2010).

En cuanto a ingresos salariales,[7] las ciencias biológicas se encuentran entre las áreas que presentan los más bajos niveles de ingreso (nacionales), con salarios que van entre los $ 6 000 y $ 9 952, los cuales están por debajo del promedio los demás profesionistas, que es de $10 600.00 (Salgado y Miranda 2008, STPS 2010), aunque la mayor parte son profesionistas asalariados.[8] Por otro lado, de acuerdo con un estudio realizado con egresados de la carrera de Biología de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM, se encontró que, dependiendo del tipo de trabajo, se presenta competencia con otros profesionales como químicos, ingenieros bioquímicos, químicos biólogos parasitólogos, químicos farmacobiólogos, agrónomos y médicos (López y Saucedo 1999).

Conclusiones y expectativas

La Ciudad de México cuenta con instituciones de alto prestigio, tanto local como nacional e internacional. La educación pública a nivel superior es la principal fuente de formación de profesionistas para el área de conocimiento de las ciencias biológicas. El estudio de la carrera de biología en esta entidad federativa tiene una oferta que se sitúa entre las más altas del país, y las instituciones y sedes que la imparten se concentran en cuatro de las 16 delegaciones (Benito Juárez, Coyoacán, Iztapalapa y Miguel Hidalgo).

La incorporación del tema ambiental y, en particular, de la biodiversidad o los recursos biológicos en carreras de otras áreas del conocimiento diferentes a las biológicas que se imparten en la Ciudad de México (cuadro 2) es un paso muy importante, aunque hace falta que se concrete efectivamente en todos los niveles y modalidades.

La actualización formativa a través de cursos, diplomados, posgrados y otros es una constante entre los profesionistas relacionados con el tema de la biodiversidad, que elevan la calidad y estatus de la fuerza laboral en esta área del conocimiento.

Sobre la ocupación por áreas de conocimiento nacional, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Observatorio Laboral de la STPS reportan que la demanda de biólogos o profesionistas con un conocimiento biológico es de las más bajas. Esto puede deberse a que las carreras de mayor demanda en la Ciudad de México son Administración, Contaduría y Leyes, ya que la oferta y el número de instituciones educativas que ofrecen estas carreras es mayor (Escamilla 2005). En síntesis, la falta de fuentes de empleo bien remuneradas para profesionales de la biología y áreas afines es un reto a nivel nacional y desde luego para la entidad.

Tales preocupaciones están reflejadas en el Plan Estratégico del Convenio sobre la Diversidad Biológica 2011-2020 del que México es parte, especialmente en la Meta 19, que establece que "Para 2020, se habrá avanzado en los conocimientos, la base científica y las tecnologías referidas a la diversidad biológica,

[7] La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2010) reportó que las carreras biomédicas tienen el ingreso promedio mensual más alto ($21 107), así como ciencias del mar ($ 18 148); sin embargo, ambas presentan los índices más bajos de ocupación.

[8] Los profesionistas de la carrera de Veterinaria tienen mayor porcentaje de ocupación independiente (STPS-Observatorio laboral, 2009, datos a nivel nacional).

sus valores y funcionamiento, su estado y tendencias y las consecuencias de su pérdida, y tales conocimientos y tecnologías serán ampliamente compartidos, transferidos y aplicados" (CDB 2011).

En este sentido, es evidente que el fortalecimiento de la ciencia básica y aplicada es indispensable para implementar un modelo de crecimiento y conservación sostenible, así como la creación de empleos con orientación científica y tecnológica que coadyuven a la generación de conocimiento y tecnología y, desde luego, a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales, como pilar indispensable del desarrollo local y nacional.

Referencias

ANUIES. Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. 2006. Catálogo de Posgrado en Universidades e Institutos Tecnológicos. En: *<http://www.anuies.mx/servicios/catalogo_nvo/catalogo_version_final_2006.pdf>*, última consulta: 6 de diciembre de 2011.

——. 2007. Catálogo de Carreras de Licenciatura en Universidades e Institutos Tecnológicos. En: *<http://www.anuies.mx/servicios/c_licenciatura/index2.php>*, última consulta: 6 de diciembre de 2011.

——. 2009. Estadísticas de la Educación Superior. En: *<http://www.anuies.mx/servicios/e_educacion/index2.ph>*, última consulta: 17 de febrero de 2011.

CDB. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2011. Plan estratégico para la diversidad biológica 2011-2020. CDB/Programa Naciones Unidas para Medio Ambiente/Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica. En: *<https://www.cbd.int/doc/strategic-plan/2011-2020/Aichi-Targets-ES.pdf>*, última consulta el 14 de agosto de 2015.

CEJA. Centro de Estudios Jurídicos y Ambientales. 2010. Información Institucional. En: *<http://www.ceja.org.mx/ofertaeducativa.php>*, última consulta: 9 de diciembre de 2010.

CICEANA. Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América. 2010. Información Institucional. Cursos y Talleres. En: *<http://www.ciceana.org.mx/>*, última consulta: 10 de diciembre de 2010.

Cifuentes, L.J., G.P. Torres y M.M. Frías. 1997. *El océano y sus recursos: Investigación Oceanográfica en México*. FCE. México. En: *<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/24/htm/sec_18.html>*, última consulta: 9 de diciembre de 2010.

COLMEX. Colegio de México. 2010. Información institucional. En: *<http://codex.colmex.mx:8991/exlibris/aleph/a18_1/apache_media/12DL3Y46MIHQDJ8SE42X5VYNQ1DQSL.pdf>*, última consulta: 03 de diciembre de 2010.

Escamilla, G. 2005. Los excesos de la educación superior en el Distrito Federal. *Revista Mexicana de Orientación Educativa*. No. 6 julio-octubre. En: *<http://www.remo.ws/revista/n6/n6-escamilla.htm>*, última consulta: 28 de febrero de 2011.

FLACSO. Facultad de Latinoamericana de Ciencias Sociales. 2010. Información institucional. En: *<http://www.flacso.edu.mx>*, última consulta: 2 de diciembre de 2010.

González, J. 1994. De la Escuela de Altos Estudios a la Facultad de Filosofía y Letras. Pp. 13–26. En: *Setenta años de la Facultad de Filosofía y Letras*. México, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2010. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo 2010. En: *<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/regulares/enoe/default.aspx>*, última consulta: 11 de diciembre de 2011.

IPN. Instituto Politécnico Nacional. 2010. Historia del IPN-Escuelas-ENCB. En: *<http://ipn.netii.net/encb.html>* , última consulta: 10 de marzo de 2014.

——. 2014. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-Oferta educativa. En: *<http://www.encb.ipn.mx/OfertaEducativa/Paginas/ibq.aspx>*, última consulta: 10 de marzo de 2014.

Ledesma M.I. y A. Barahona E. 1999. Alfonso Luis Herrera e Isaac Ochoterena: La Institucionalización de la Biología en México. *Historia Mexicana* 48(3):635-674.

León, L.E.G. 2002. *El Instituto Politécnico Nacional, Origen y evolución histórica*. Secretaría de Educación Pública. México.

López, T. A. y M. Saucedo. 1999. La Licenciatura de Biología en la ENEP Iztacala de la UNAM. *Revista de la Educación Superior. ANUIES*, Vol. XXVIII, No. 109. En: *<http://www.anuies.mx/servicios/p_anuies/publicaciones/revsup/>*, última consulta: 15 de diciembre de 2010.

OLA. Observatorio Laboral. 2014. En: *<http://www.observatoriolaboral.gob.mx/swb/es/ola>*, última consulta: 10 de marzo de 2014.

Ruíz G. de S.V., B. 1967. Justo Sierra y la Escuela de Altos Estudios. *Historia Mexicana* 16(4):541-564.

Rodríguez, S.C.R. 2003. La inserción laboral de egresados de la educación superior en el estado de Hidalgo. *Revista de la Educación Superior.* 127(32):7-22.

Salgado, V.M.C. y Miranda G.S.2008. Comportamiento del Mercado Laboral de las Profesiones a Nivel Nacional y en el Estado de México. *Revista Trimestral del Análisis de Coyuntura Económica*. Abril-Junio:11-13.

SEP. Secretaría de Educación Pública. 2009. Estadísticas e indicadores. En: *<http://www.sep.gob.mx/es/sep1/sep1_Estadisticas>*, última consulta: 02 de diciembre de 2011.

STPS. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. 2010. Tendencias del empleo profesional. En: *<http://www.observatoriolaboral.gob.mx/wb/ola/ola_tendencias_del_empleo_profesional?page=5>*, última consulta: 23 de febrero de 2011.

UAM. Universidad Autónoma Metropolitana. 2011. Los acontecimientos más destacados de la vida institucional de la Universidad Autónoma Metropolitana. En: *<http://www.archivohistorico.uam.mx/pre-pa/indice.html>*, última consulta: 27 enero 2011.

——. 2014. Planes de estudio de licenciaturas. En: *<http://www.uam.mx/licenciaturas/index.html>*, última consulta: 10 de marzo de 2014.

UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México. 1992. Nuestros Maestros. Tomo II. México.

——. 2011. Portal de Estadística Universitaria-Numeralia 2010. En: *<http://www.estadistica.unam.mx/numeralia/>*, última consulta: 2 de febrero de 2011.

——. 2014. Sistema Integral de Administración Escolar. *<http://www.dgae-siae.unam.mx/oferta/carreras.php>*, última consulta: 10 de marzo de 2014.

Universidad Simón Bolívar. s/f. Facultad de Ciencia y Tecnología-Biología. En: *<http://www.usb.edu.mx/oferta-educativa/licenciaturas/biologia#>*, última consulta 10 de marzo de 2014.

Diversidad del pasado

Foto: César Hernández Hernández

3

Resumen ejecutivo

Diversidad del pasado

Héctor Perdomo Velázquez

El periodo Cuaternario se caracterizó por actividad glacial alternada con episodios cálidos, durante las cuales las temperaturas, en ocasiones, fueron más altas que las actuales. Estas alteraciones climáticas causaron cambios en las comunidades florísticas y faunísticas, de ecosistemas ahora extintos; en los cuales coexistieron organismos que actualmente son ecológicamente incompatibles. La presente sección presenta diferentes estudios que describen la fauna y flora de este periodo.

Con base en evidencia de diatomeas fósiles, se confirmó la existencia de un bosque de *Pinus* y *Quercus* en lo que actualmente es ésta ciudad. Por medio de una recopilación publicada desde finales del siglo XIX, se describen 51 especies de moluscos fósiles para la antigua zona de la Ciudad de México en el Pleistoceno. Esta comunidad de organismos confirma que el lago de Tláhuac era de agua dulce con existencia de manantiales, así como partes someras y profundas; y permite determinar que entonces el clima era templado, más frío que en la actualidad, con veranos menos cálidos y húmedos e inviernos menos fríos y más húmedos.

El estudio de ostrácodos (microcrustáceos provistos de un caparazón bivalvo de carbonato de calcio), que ocupan hábitats como lagos, estanques, y el fondo de cuerpos de agua; permiten determinar concentraciones de carbono y oxígeno y reconstruir las condiciones de ambientes antiguos, lo que es llamado paleoclimática. De esta manera, por ejemplo, los cambios en la composición de especies indican la alcalinización y salinización del lago durante el periodo Sangamoniense.

Los registros fósiles de peces de agua dulce, indican que durante el Pleistoceno la cuenca de México estuvo habitada por las mismas familias que se conocen para tiempos históricos, con las mismas especies como el pescado blanco (*Chirostoma humboldtianum*), el Juil (*Algansea tincella*) o el Charal (*Chirostoma jordani*).

El registro fósil de anfibios y reptiles de la cuenca de México es muy escaso, debido a su fragilidad y falta de excavaciones, sin embargo se han identificado además de especies que actualmente se distribuyen en el área como ajolotes, ranas y sapos, organismos como los del género *Testudo*, el cual se encuentra extinto en México y que actualmente sólo se encuentra en África, Europa y Asia.

Se presenta una síntesis del paisaje avifaunístico de la cuenca de México en el Pleistoceno, que incluye 31 especies, de las cuales 22 son acuáticas,

Perdomo-Velázquez, H. 2016. Resumen ejecutivo. Diversidad del pasado. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 275-276.

siete rapaces y dos paseriformes. Existen registros fósiles importantes como el águila real (*Aquila chrysaetos*), extirpada actualmente de la cuenca; o águilas extintas como *Spizëatus grinelli* y *Breagyps clarkii*. También se destaca la falta de registros fósiles de aves asociadas ambientes humanos como zopilotes y pavos. En resumen, la diversidad aviar corresponde con el paisaje propio de los paleolagos de la cuenca de México.

Para el caso de los mamíferos existe un registro fósil abundante debido al tamaño de los huesos. Para el área que actualmente cubre la Ciudad de México se describen seis órdenes de mamíferos, incluyendo primates, armadillos, perezosos, mastodontes, felinos, osos, tapires, camellos, entre otros. De las 77 especies que ocuparon la cuenca de México, 69% ya no se hallan actualmente, y solamente 14 especies de aquellas que lo habitaron en el pleistoceno viven actualmente en la región. En estos registros fósiles se incluyen animales de gran tamaño que pesaban más de 100 kg como bisontes (*Bison* sp.), berrendos (*Antilocapra americana*, *Capromeryx* sp., *Tetrameryx* sp., *Stockoceros* sp.) y mamuts (*Mammuthus columbi*). Destacan también depredadores como los leones americanos (*Panthera atrox*), los tigres dientes de sable (*Smilodon fatalis*), los lobos pleistocénicos (*Canis dirus*) y los osos de rostro corto (*Arctodus simus*).

Los estudios que integran la presente sección dan cuenta de la gran biodiversidad que comprende esta región desde hace miles de años y los cambios que ha sufrido hasta resultar en su estado actual.

Biodiversidad del pasado (Cuaternario)

Joaquín Arroyo Cabrales
Felisa Josefina Aguilar Arellano

Introducción

El periodo Cuaternario (2.5 millones de años al presente) es la subdivisión más reciente del registro geológico y está constituido por dos épocas: el Pleistoceno, que comenzó hace 2.5 millones de años y abarca hasta los grandes cambios bióticos de hace aproximadamente 11 mil años, y el Holoceno, que es el intervalo actual (de hace 11 500 años hasta la fecha) (Morrison 1991).

Este periodo se caracterizó por la actividad glacial alternada con episodios cálidos (interglaciales), durante los cuales las temperaturas en latitudes medias y altas fueron, en ocasiones, más altas que las actuales. Durante las etapas frías de gran duración (entre 40 y 120 años cada una) se desarrollaron grandes masas continentales de hielo y se presentó la expansión de montañas de glaciares en muchos lugares del mundo (Rutherford y D'Hondt 2000).

Estas alteraciones climáticas causaron cambios en las comunidades florísticas y faunísticas, y juntaron elementos característicos de diferentes paisajes. Dichas comunidades pasadas representan ecosistemas ahora extintos (Webb *et al.* 2004).

Otro aspecto que caracterizó al Cuaternario, especialmente a finales del Pleistoceno, fue la extinción de diversos componentes de la flora y la fauna. Entre las causas de dicha desaparición se consideran el cambio climático, el desequilibrio ecológico y, en el caso de la fauna, la cacería excesiva por los primeros habitantes del continente americano (Koch y Barnoski 2006); pero las discusiones aún continúan (véase Grayson y Meltzer 2003 contra Fiedel y Haynes 2004).

En el caso del continente americano, a finales del pleistoceno, hace aproximadamente 30 mil años antes del presente (AP), la flora, la fauna y la gente que habían llegado a este continente desde el norte, sufrieron el avance de las capas de hielo y las condiciones más frías, lo que los forzó a emigrar hacia el sur en búsqueda de tierras cálidas. En el sur de los Estados Unidos de América, México y Centroamérica, las tierras estaban libres de hielo con excepción de las montañas altas. El clima se caracterizó por la reducción de la temperatura y la precipitación, volviéndose más uniforme y estable (Urrutia-Fucugauchi *et al.* 1997, Sedov *et al.* 2009). Estas condiciones permitieron el desarrollo de comunidades más diversas, incluyendo la coexistencia de plantas y animales que en la actualidad son ecológicamente incompatibles y, por ello, se les considera como especies no análogas, es decir, aquellas que coexistieron en una misma región en el pasado y que actualmente ocupan ambientes diferentes (Stafford *et al.* 1999).

Particularmente en México, existen trabajos que han utilizado diferentes técnicas y datos (*e.g.* polen, diatomeas, isótopos, nidos de roedores, registros de los glaciares) que proporcionan información sobre las condiciones

Arroyo-Cabrales, J. y F.J. Aguilar. 2016. Biodiversidad del pasado (Cuaternario). En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 278-279.

paleoclimáticas en el país, desde el P tardío hasta el Holoceno (Metcalfe *et al.* 2000). La información disponible indica que las condiciones climáticas eran más húmedas para la región norte, mientras que para la península de Yucatán fueron más secas, en la zona central se presentaron condiciones variables (Metcalfe *et al.* 2000).

Con estos parámetros climáticos, las paleocomunidades que se desarrollaron, es decir, el conjunto de organismos extintos que coexistieron en un espacio definido, fueron diferentes a las que se encuentran en la actualidad, aspecto que se está estudiando a través de las evidencias fósiles, tanto de plantas como de animales, que se recuperan.

En el caso de la Ciudad de México, se sabe que gran parte de lo que hoy conforma este territorio, durante el Pleistoceno, estuvo cubierto por agua (Metcalfe *et al.* 2000), mientras que en la orilla oriental se desarrolló una abundante flora y fauna, límite que hoy pertenece al Estado de México, por lo que el análisis integral debe considerarse dado que los seres vivos no tienen límites políticos sino biogeográficos. En esta sección se pretende sintetizar el conocimiento que se tiene acerca de la diversidad de plantas y animales que habitaron en la ciudad durante el Pleistoceno e inicios del Holoceno, incluyendo aquellas especies que existen todavía en la región.

Referencias

Fiedel, S. y G. Haynes. 2004. A Premature Burial: Comments on Grayson and Meltzer's "Requiem for Overkill". *Journal of Archaeological Science* 31: 121-131.

Grayson, D.K. y D.J. Meltzer. 2003. A requiem for North American overkill. *Journal of Archaeological Sciences* 30: 585-593.

Koch, P.L. y A.D. Barnoski. 2006. Late Quaternary extinctions: State of the debate. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37: 215–250.

Metcalfe S.E., S.L. O'Hara, M. Caballero y S.J. Davies. 2000. Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in México – a review. *Quaternary Science Reviews* 19: 699-721.

Morrison, R.B. 1991. Introduction. pp. 1-12. En: *Quaternary Nonglacial Geology: Conterminous*, R. B. Morrison (comp.). U.S. Geological Society of America, Boulder, Colorado,

Rutherford, S. y S. D'Hondt. 2000. Early onset and tropical forcing of 100,000-year Pleistocene glacial cycles. *Nature* 408: 72-75.

Sedov, S., E. Solleiro-Rebolledo, B. Terhorst, *et al.* 2009. The Tlaxcala basin paleosol sequence: a multiscale proxy of middle to late Quaternary environmental change in central Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 26(2): 448-465.

Stafford, T.W. Jr., H.A. Semken, Jr., R.W. Graham, *et al.* 1999. First accelerator mass spectrometry 14C dates documenting contemporaneity of nonanalog species in late Pleistocene mammal communities. *Geology* 27: 903-906.

Urrutia-Fucugauchi, J., S.E. Metcalfe y M. Caballero (comps.). 1997. Climatic Change – Mexico. First International Conference on Climatic Change in Mexico, Taxco 1993. *Quaternary International* 43/44: 1-190.

Webb, S.D., R.W. Graham, A.D. Barnosky, *et al.* 2004. Vertebrate paleontology. pp. 519-538. En: *The Quaternary Period in the United States*. A.R. Gillespe, S.C. Porter y B.F. Atwater (comps.). Elsevier, Developments in Quaternary Science Series, Amsterdam.

Plantas

Felisa Josefina Aguilar Arellano

El conocimiento sobre las paleocomunidades vegetales que se desarrollaron en lo que hoy es la Ciudad de México es escaso, como consecuencia de la intensa actividad volcánica, que no permitió la preservación de las evidencias macrofósiles (maderas, hojas, flores, frutos y semillas), así como de las plantas que crecían en el área (Lozano-García y Cevallos-Ferriz 2007). Sin embargo, debido al continuo depósito de los microrrestos de las plantas (polen y esporas) en el fondo de los lagos y a través de estudios palinológicos (estudios fósiles de polen, esporas, etc.), se han recuperado estas estructuras fosilizadas (microfósiles) de los sistemas lacustres que existieron en la cuenca de México (de norte a sur, Zumpango-Xaltocan, Texcoco y Xochimilco-Chalco); con esta evidencia es posible tener una inferencia de los tipos de paleocomunidades que se desarrollaron en el área (Lozano-García 1996, Lozano-García y Cevallos-Ferriz 2007, Caballero *et al.* 2010). Asimismo, el registro de algas microscópicas (diatomeas) es un elemento que permite inferir las condiciones climáticas a través de los estudios de paleolimnología (características físicas, químicas y biológicas de un lago), que se realizan de los sedimentos que se recuperan de estos cuerpos lacustres y en donde éstas se desarrollaron (Caballero *et al.* 2010).

Con la revisión bibliográfica publicada a la fecha e incluída en el apéndice 3, se hace una síntesis de los registros paleobotánicos y palinológicos que se conocen para la entidad (figura 1).

Considerando los registros paleolimnológicos de los tres sistemas lacustres de la cuenca de México (Tecocomulco, Texcoco y Xochimilco-Chalco) se tiene evidencia ambiental y de la vegetación de la cuenca para cuatro momentos del tiempo, expresados en años calendáricos (cal) antes del presente (AP): glacial temprano (GTM), 25 000-22 000 cal AP; último máximo glacial (UMG), 22 000-18 000 cal AP; glacial tardío (GTA), 18 000-15 000 cal AP, y glacial terminal (GTE), 15 000-12 000 cal AP (Caballero *et al.* 2010, cuadro 1).

Los registros paleobotánicos

En la Ciudad de México, para el sitio del cerro de la Estrella existe el único reporte de macrorrestos recuperados, donde se encontraron impresiones en cenizas volcánicas de hojas completas y fragmentadas de 13 taxa, así como registros de hojas y tallos, que por su bajo estado de preservación no pudieron ser identificadas, con una edad estimada del pleistoceno tardío (Espinosa de G. Rul y Rzedowski 1966) (apéndice 3). Los autores sugieren que en el lugar se desarrolló un bosque de encinos, por la abundancia de las especies del género *Quercus*, pero por las especies asociadas y las condiciones ecológicas en las que se encuentran en la actualidad; infieren que en la localidad, durante ese intervalo, existió una importante diversidad de microclimas (Espinosa de G. Rul y Rzedowski 1966).

Aguilar, F.J. 2016. Plantas. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 280-284.

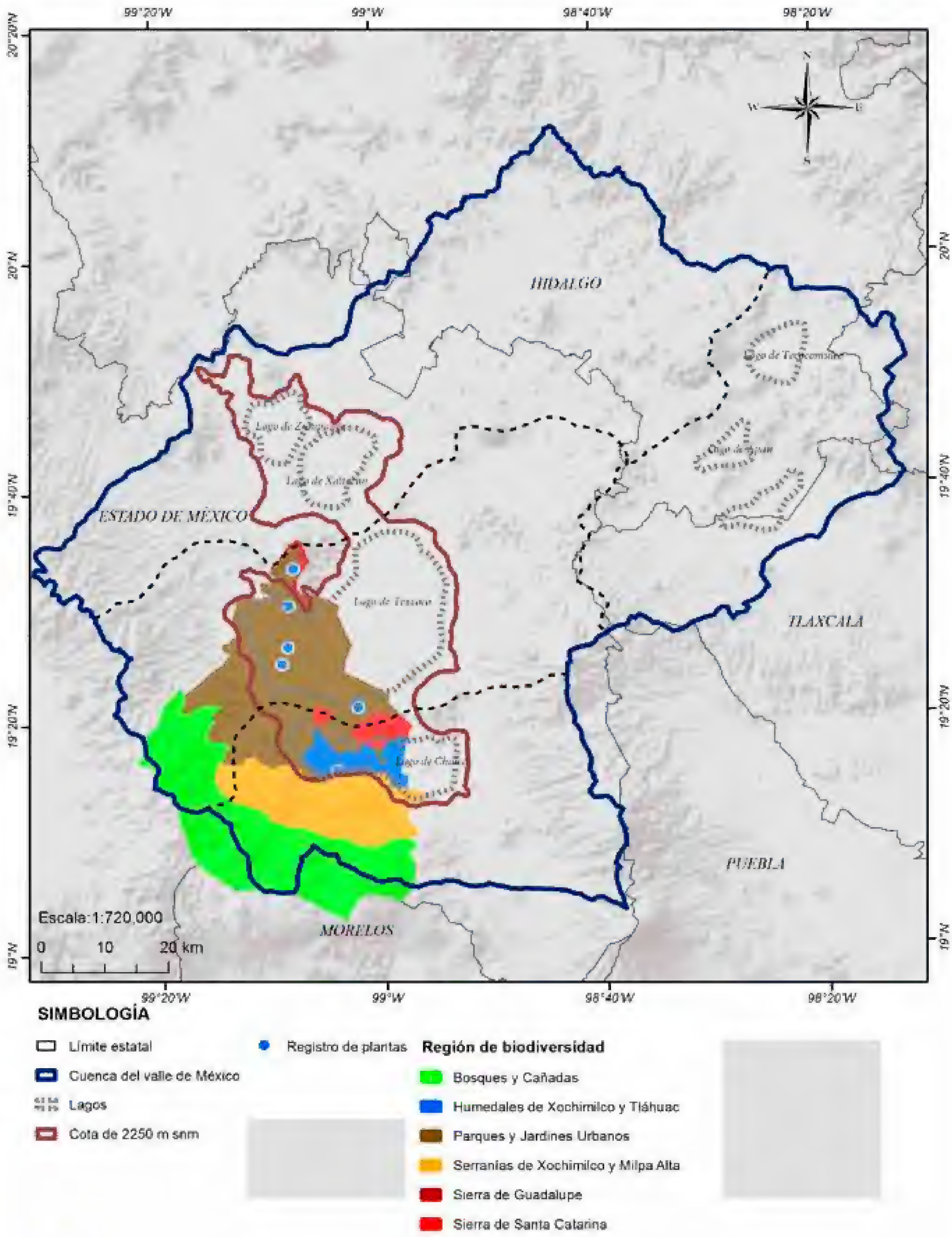


Figura 1. Localidades con restos paleobotánicos. Fuente: elaborado por los autores.

Cuadro 1. Sistemas lacustres de la cuenca de México, datos paleolimnológicos y de paleovegetación durante el último máximo glacial.

Sistema lacustre	Altitud (msnm)	Nivel lacustre				Tipo lacustre				Paleovegetación			
		GTM	UMG	GTA	GTE	GTM	UMG	GTA	GTE	GTM	UMG	GTA	GTE
Tecoco-mulco	2465	Bajo	SE	HS	HS	Pantano	SE	HS	HS	Bosque de *Pinus* y de helecho *Isoëtes*	SE	SE	SE
Texcoco	2215 Orilla NE	Somero	Somero	Bajo	Bajo	Salobre	Salobre	NI	NI	Bosques de *Pinus* y *Quercus*	Bosques de *Pinus* y *Quercus*	Bosques de *Pinus*	NI
	Centro	Somero	Somero	HS	Bajo	Salobre	Menos salobre	HS	NI	Bosques de *Pinus*, escasa presencia de *Quercus* y *Cupressaceae* *Picea*	Bosques de *Pinus*, *Quercus* y *Picea*	Bosques de *Pinus*	NI
Xochimil-co-Chalco	2215	Somero a alto	Alterna entre somero y panta-no	Somero	Bajo	Salobre a dulce	NI	Dulce	NI	Baja presencia de *Pinus*	Bosques de *Pinus*, *Pinus-Quercus*, *Picea*, *Mimosa biuncifera*	Bosques abiertos	Bosques de *Pinus* y *Alnus*
										Aumenta *Cupressaceae* y pastos		Bosques cerrados con elemen-tos de mesófilo	Reducción de *Cupressaceae*
													Presencia de helechos

SE= sin evidencia; HS= Hiato sedimentario; NI= no indicado.
GTM = Glacial Temprano: 25,000-22,000 cal AP; UMG= Último Máximo Glacial:22,000-18,000 cal AP
GTA= Glacial Tardío: 18,000-15,000 cal AP y GTE= Glacial Terminal: 15,000-12,000 cal AP.
Fuente: elaborado por los autores, sintetizado de Caballero *et al.* 2010.

Los registros palinológicos

En el caso particular del registro palinológico, los microfósiles recuperados confirman el desarrollo de un bosque de *Pinus* y *Quercus*, aunque con la presencia de elementos que indican condiciones secas, como lo señalan las diatomeas halófilas de los géneros *Anomoeoneis*, *Campylodiscus* y *Cymbella*, y del tipo alcalófilo como *Cyclotella*, *Navicula* y *Nitzschia*, así como hiatos sedimentarios.

Considerando los estudios realizados en los sistemas lacustres de la cuenca de México, y con base en el análisis de los diferentes estratos y de temporalidad para el UMG (cuadro 1; Maldonado-Koerdell 1950, Sears 1952, Sears y Clisby 1952, González-Quintero y Fuentes-Mata 1980, González-Quintero 1986, Martínez-Hernández y Lozano-García 1988, Lozano-García 1989, Lozano-García *et al.* 1993, Sandoval Montaño 2000, Sosa-Nájera, 2001, Lozano-García y Vásquez-Selem 2005, Caballero *et al.* 2010), se confirma el desarrollo de bosques de *Pinus* y *Quercus* con climas fríos y secos. Conforme transcurre el tiempo se observan cambios que no son iguales entre las diferentes etapas, pues dependerá de la localización y la altura del sitio; sin embargo, se observa un incremento térmico que afecta las paleocomunidades vegetales (cuadro 1), ya

que al parecer no hubo un incremento significativo de la precipitación, como se observa con el registro paleolimnológico (Caballero *et al.* 2010). Esta característica también se verá afectada posteriormente, al establecerse los grupos humanos en la zona, como lo indica la presencia de polen de maíz (González-Quintero y Fuentes-Mata 1980).

Conclusión y recomendaciones

Con base en la evidencia macro y microfósil, se confirma que en la Ciudad de México estuvieron presentes paleocomunidades vegetales cuyos componentes principales fueron los encinos y los pinos, aunque pudieran tratarse de comunidades diferentes de las que se conocen en la actualidad. Sin embargo, es necesario resaltar que la información disponible es aún fragmentaria y limitada a pocas localidades debido a la pobre preservación del registro o al intenso impacto que tuvo la actividad volcánica en la zona, por lo que para tener un panorama más completo sobre la ciudad en dicha temporalidad, será necesario continuar con estudios que permitan comprender la evolución y los cambios de la vegetación a lo largo del tiempo.

Referencias

Bradbury, J.P. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, Mexico. Evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography* 16(2): 180-200.

Caballero, M., S. Lozano-García, L. Vázquez-Selem y B. Ortega. 2010. Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del dentro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62(3): 359-377.

Clisby, K.H. y P.B. Sears. 1955. Palynology in southern North America, Part 3. *Bulletin of Geological Society for America* 66: 511-520.

Díaz Lozano, E. 1917. Diatomeas fósiles mexicanas. *Anales del Instituto Geológico de México* 1(1):1-27.

——. 1936. Estratigrafía de un yacimiento fosilífero encontrado en la colonia "Los Álamos", D. F. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 9(5): 289-293.

Espinosa de G. Rul, J. y J. Rzedowski. 1966. Flórula del Pleistoceno Superior del Cerro de la Estrella, próximo a Ixtapalapa, D. F.,México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 16: 9-39.

González-Quintero, L. 1986. Análisis polínicos de los sedimentos. pp. 113-132. En: Tlapacoya 35,000 años de historia del lago de Chalco. J. L. Lorenzo y L. Mirambell (eds.). INAH, *Colección Científica*, 155:1-296.

González-Quintero, L, y M. Fuentes-Mata. 1980. El Holoceno en la porción central de la cuenca del Valle de México. Memorias del III Coloquio sobre paleobotánica y palinología. INAH, *Colección Científica* 86: 195-200.

Lozano-García, M.S. 1989. Palinología y paleoambientes pleistocénicos de la Cuenca de México. *Geofísica Internacional* 28(2): 335-336.

——. 1996. La vegetación del Cuaternario tardío en el centro de México: registros palinológicos e implicaciones paleoambientales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58: 113-128.

Lozano-García, M.S. y S.R.S. Cevallos-Ferriz. 2007. Historia de la vegetación del centro de México: evidencias paleobotánicas. pp. 273-287. En: *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana I*. V. Luna, J. J. Morrone y D. Espinosa O. (eds.). UNAM. México.

Lozano-García, M.S. y L. Vázquez-Selem. 2005. A high elevation Holocene pollen record from Iztaccíhuatl volcano, central Mexico. *The Holocene* 15(3): 29-338.

Lozano-García, M.S., B. Ortega-Guerrero, M. Caballero y J. Urrutia-Fucugauchi. 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco lake. *Quaternary Research* 40: 332-342.

Maldonado-Koerdell, M. 1950. Los estudios paleobotánicos en México, con un catálogo sistemático de sus plantas fósiles. UNAM. Boletín del *Instituto de Geología* 55: 1-72.

Martínez-Hernández, E. y M.S. Lozano-García. 1988. Polen fósil de México. Simposio sobre diversidad biológica de México. Oaxtepec, Morelos.

Reiche, C. 1923. Die Vegetationsverhaeltnisse in der Umgebung der Hauptstadt von Mexiko. *Botanische Jahrbücher Beiblatt* 129: 1-116.

Sandoval Montaño, A. 2000. *Análisis palinológico y consideraciones paleoambientales de un sondeo en el ex-lago de Texcoco, cuenca de México.* Tesis de Maestría. UNAM. México.

Sears, P.B. 1952. Palynology in southern North America, Part 1. *Bulletin of Geological Society for America* 63: 241-254.

Sears, P.B. y K.H. Clisby. 1952. Palynology in southern North America, Part 4. *Bulletin of Geological Society for America* 66: 521-530.

Sosa-Nájera, S. 2001. R*egistro palinológico del Pleistoceno tardío-Holoceno en el extremo meridional de la cuenca de México: Paleoambientes e inferencias paleoambientales.* Tesis de Maestría. UNAM, México.

Moluscos fósiles

María Teresa Olivera Carrasco
Edna Naranjo García

Introducción

La Ciudad de México posee la menor extensión territorial de la república mexicana, 41% corresponde a suelo urbano, 28 % a suelos agrícolas y urbanos (jardines) y 31 % a vegetación natural diversa (Rivera-Hernández y Espinoza-Henze 2007), lo que propicia también la existencia de fauna variada, entre la que se encuentran los moluscos. Estos organismos invertebrados pertenecen al *Phylum Mollusca* y pueden o no poseer una concha calcárea. Su diversidad de formas, tamaños y modo de vida, ha permitido que colonicen ambientes marinos, terrestres y dulceacuícolas; existen especies pequeñas —micromoluscos menores de 5 mm (Naranjo-García y Fahy 2010)— hasta mayores de 20 m (calamares) (Roper *et al.* 1984).

Las especies continentales, terrestres y dulceacuícolas, son importantes en la formación de suelo ya que reciclan la materia orgánica mediante el proceso digestivo y fragmentan hojas frescas o secas, facilitando la acción de bacterias y hongos del suelo (Naranjo-García 1997). Estos organismos forman parte de la cadena trófica, por lo que son un elemento en la dieta de moluscos carnívoros como las especies del género *Euglandina*, así como de peces, de anfibios (ajolotes, salamandras y ranas), de reptiles (tortugas y lagartijas), de pequeños mamíferos (ratones, tuzas, musarañas y ardillas) y de aves.

Su concha ya vacía puede servir de albergue para arañas y pseudoescorpiones, como sitio de cría de algunos insectos, por ejemplo: mosquitos (Diptera), escarabajos (Coleoptera) o abejas (Hymenoptera); la concha fragmentada de pequeños moluscos dulceacuícolas es utilizada por los insectos tricópteros (Trichoptera, adultos voladores y larvas acuáticas) como materia prima para construir su refugio larvario (Burch 1962, Naranjo-García 1995-1996). La degradación de la concha es una fuente de calcio para el suelo y los organismos que lo requieren (animales y plantas).

Los moluscos, en particular los micromoluscos, son muy sensibles a los cambios ambientales, principalmente a los de humedad y temperatura, por lo que resultan buenos indicadores de condiciones ambientales locales, se conservan muy bien en suelos carbonatados y el análisis de las comunidades fósiles permite hacer inferencias paleoambientales y conocer los cambios que acontecieron en el sitio de estudio (Evans 1972).

En contraste, los moluscos que son introducidos en ambientes distintos al suyo viajan dejando atrás depredadores y enfermedades, de manera que en el nuevo hábitat establecen una competencia desigual con las poblaciones nativas, llegando incluso a provocar su extinción; además, algunos suelen convertirse en plagas para la agricultura, mientras que otros

Olivera-Carrasco, M.T. y E. Naranjo-García. 2016. Moluscos fósiles. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 285-302.

son transmisores de enfermedades para el hombre o la fauna (Cowie 1993, Lydeard *et al.* 2004 y Karatayev *et al.* 2009).

En esta contribución, se hace una recopilación de la información publicada desde finales del siglo XIX hasta la fecha, y de las colectas y trabajos inéditos que se están realizando en la Colección Nacional de Moluscos del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como en el Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico del Instituto Nacional de Antropología e Historia. El orden taxonómico sigue a Vaught (1989) y se actualizaron los nombres científicos con la obra de Thompson (2011) y Bouchet y Recroi (2005).

Diversidad actual

Geiger (2006) estima que en el mundo existen aproximadamente 100 mil especies descritas de moluscos, 73 mil marinas y el resto son terrestres y dulceacuícolas (figura 1), mientras que para Chapman (2009) el total de especies descritas se aproxima a 85 mil. Estas cifras pueden variar de acuerdo con el autor que se consulte y el criterio que haya empleado para obtenerlo.

De las especies continentales mexicanas descritas, las terrestres son mejor conocidas que las de agua dulce. Naranjo-García y Fahy (2010) mencionan que se han registrado 42 familias de la clase Gastropoda, de las cuales siete, pertenecen a la subclase Prosobranchia y el resto a la subclase Pulmonata, conformando un total de 1 178 especies y subespecies nativas terrestres para México.

En relación con las formas de agua dulce, Naranjo-García (2003) registra la presencia de 16 familias: 12 de la clase Gastropoda, 8 de la subclase Prosobranchia y 4 de Pulmonata; para la clase Bivalvia —especies con concha formada por dos valvas, sin cabeza y acuáticos—, se registraron cuatro familias. Por su parte Contreras-Arquieta (2000) reconoce 15 familias dulceacuícolas (211 especies), 12 de la Clase Gastropoda (142 especies) y tres de Bivalvia (69 especies), Ceresidae (Thompson, 2011) y Echinichidae (Thompson y Naranjo-García 2012) con tres especies nuevas cada una.

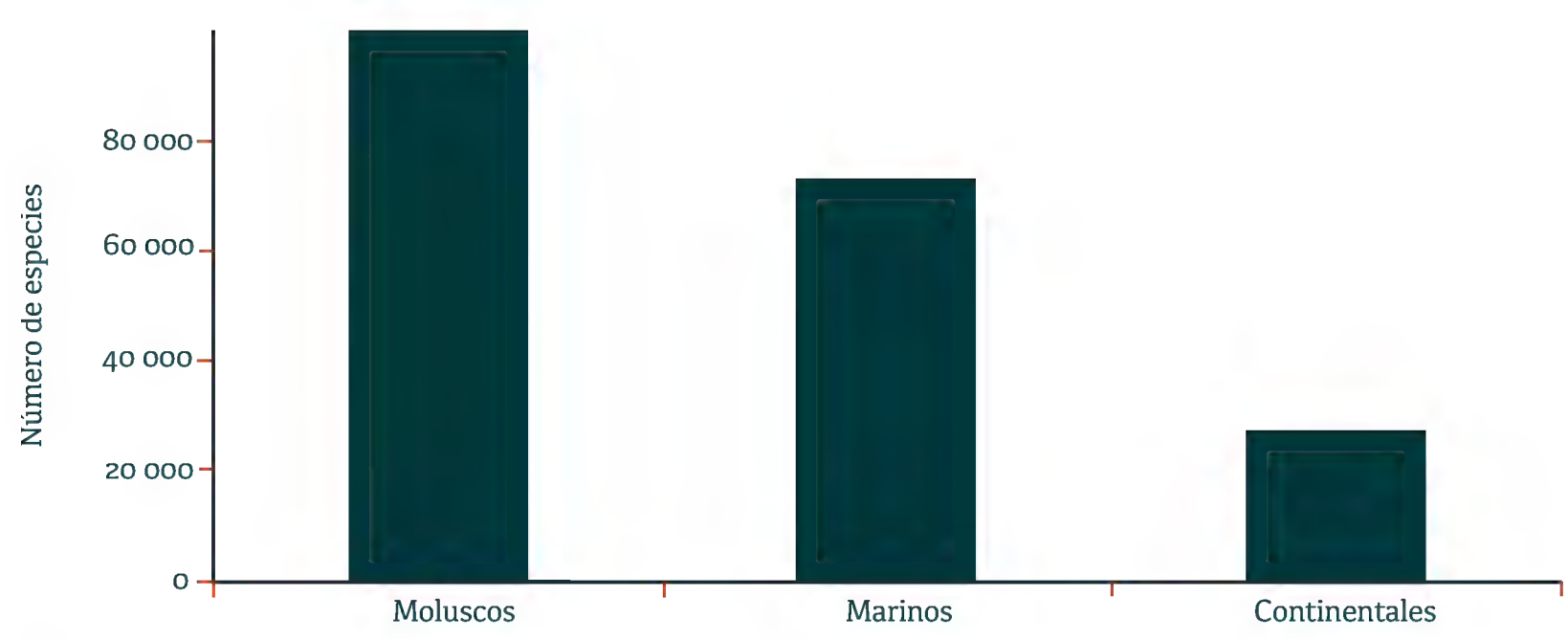


Figura 1. Número de especies actuales de moluscos en el mundo. Fuente: Geiger 2006.

La suma de las especies terrestres y dulceacuícolas registradas es de 1 389 (5.16% del total continental mundial). Thompson (2011) reconoce para Centroamérica y México 1 239 especies terrestres y 252 dulceacuícolas (sin considerar a los bivalvos) y menciona que 85 % del territorio de la república mexicana no ha sido investigado y aún las áreas más conocidas requieren de estudios adicionales (figuras 2 y 3).

En la Ciudad de México (figura 3) la situación es similar, se desconoce la comunidad de moluscos que habita en la mayor parte de su territorio y un buen segmento de los ecosistemas naturales se ha perdido junto con su fauna.

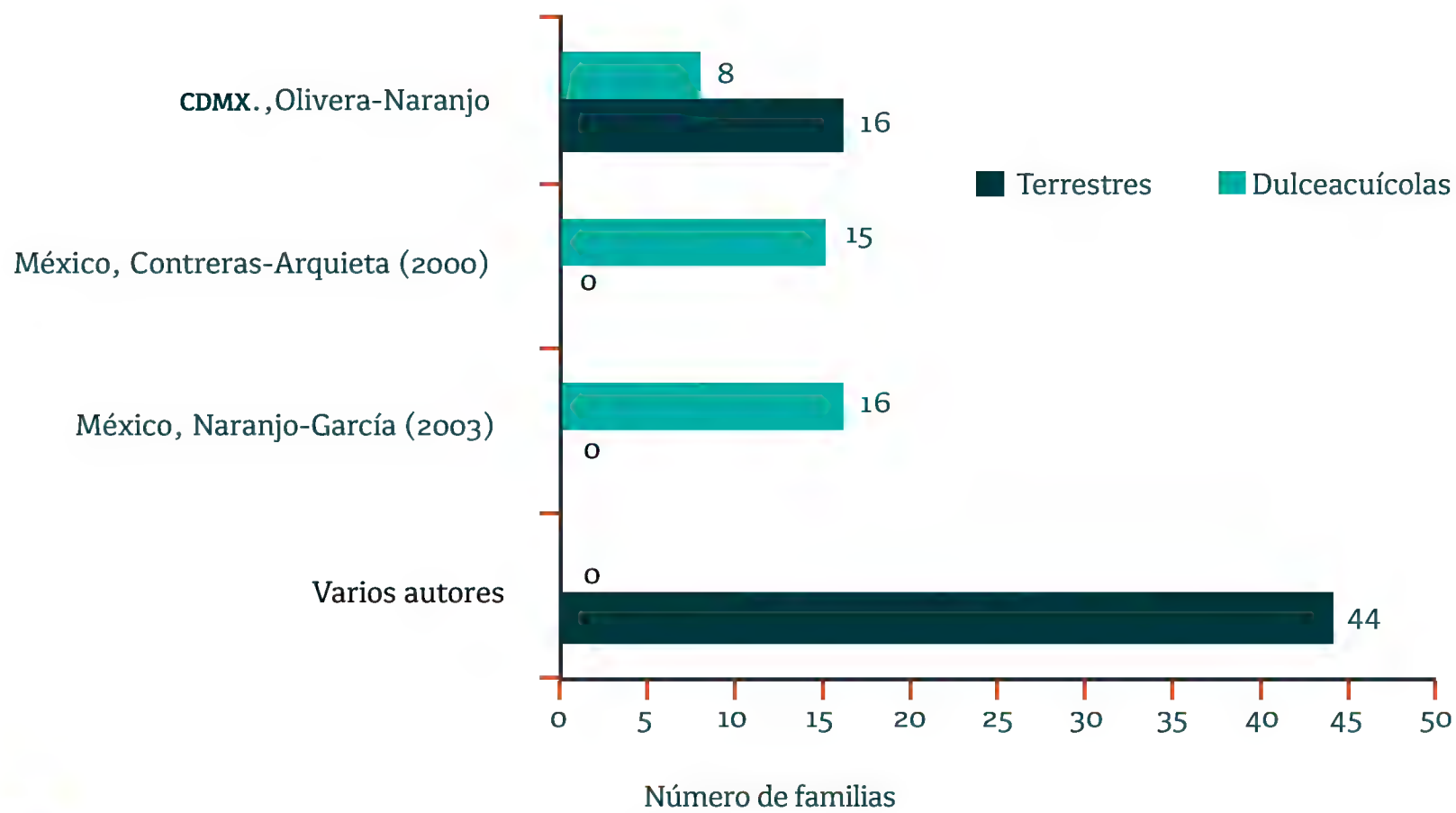


Figura 2. Número de familias continentales actuales para México y la Ciudad de México. Fuente: esta contribución, Contreras-Arquieta 2000, Naranjo-García 2003, Naranjo-García y Fahy 2010.

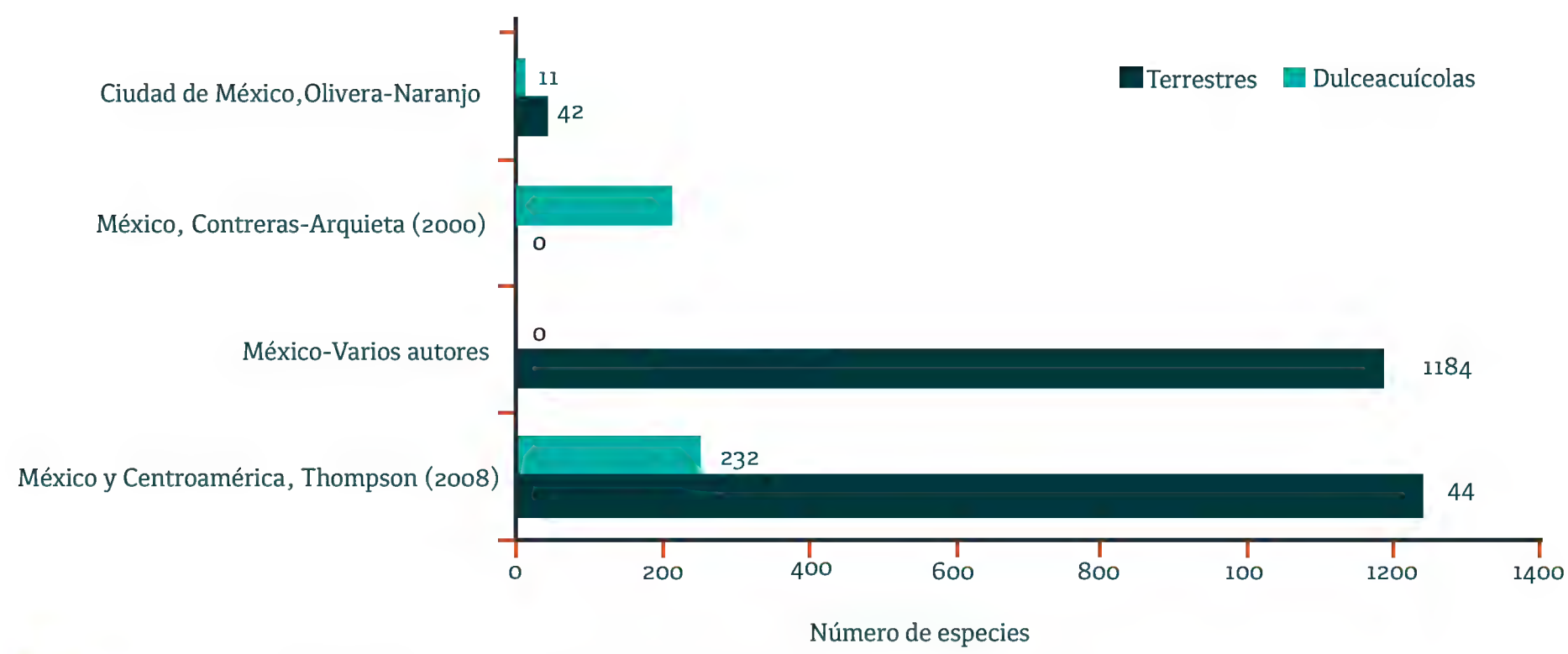


Figura 3. Número de especies continentales actuales para México y la Ciudad de México. Fuentes: esta contribución; Contreras-Arquieta 2000, Naranjo-García y Fahy 2010, Thompson 2011.

Se registran actualmente 24 familias en total: 16 de moluscos terrestres (de las 44 reconocidas), 12 con especies nativas y seis introducidas (Helicidae, Puntidae, Boetgerillidae, Limacidae, Milacidae y Oxychilidae), las cuales se distribuyen en 26 géneros con 33 especies y subespecies. De estas últimas 33 son nativas y seis introducidas las cuales se distribuyen en 26 géneros con 43 especies y subespecies, de estas últimas 33 son nativas y 10 introducidas (*Paralaoma servilis, Boetgerilla pallens, Milax gagates, Oxychilus draparnaudi, Deroceras invadens, D. flavus, D. maximus, D. reticulatum, Lehmannia valentiana* y *Helix aspersa*). En el apéndice 4 y cuadro 1 se presenta la lista sistemática y la lista de especies terrestres en orden alfabético

Cuadro 1. Lista alfabética de especies terrestres de la Ciudad de México, con la familia, la localidad y el autor de cada registro.

Especie	Familia	Localidad Eje	Regionalización Ciudad de México
Boettgerilla pallens	Boettgerillidae	Jardín Botánico Exterior bajo un adoquín (Rivera, 2013)	Ciudad Universitaria
Bunnya bernadinae	Humboldtianidae	Paredes del monasterio del Desierto de los Leones, Desierto de los Leones a La Venta 2954-3000 m (Baker 1942)	Bosques y Cañadas, Parques y Jardines Urbanos
Deroceras invadens	Limacidae	Cantera Oriente, zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Vital 2009, Rivera 2013)	Parques y Jardines Urbanos
Deroceras laeve	Limacidae	Desierto de los Leones a La Venta 2954-3000 m, Cuajimalpa a Santa Rosa 2600-2800 (Baker 1930)	Bosques y Cañadas, Parques y Jardines urbanos
Deroceras reticulatum	Limacidae	Cantera Oriente, zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Vital 2009)	Parques y Jardines Urbanos
Drymaeus dombeyanus	Orthalicidae	Ajusco, Ciudad de México (Díaz de León 1912, Martens 1890-1901, Pilsbry 1899*a*), cercanías de la Ciudad de México (Solem 1957)	Bosques y Cañadas
Drymaeus hegewischi	Orthalicidae	Alrededores de México en tierra fría sobre cactus (Díaz de León 1912, Martens 1890-1901, Pilsbry 1899*a*); Villa Obregón, San Angel (Ancona 1947); Cantera Oriente, zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel (Vital 2009); Bosque de Tlalpan (Taracena Morales 2010)	Parques y Jardines Urbanos
Drymaeus inglorius heynemanni	Orthalicidae	Bosque de Chapultepec (Ancona 1947)	Parques y Jardines Urbanos
Drymaeus rudis	Orthalicidae	Ciudad de México, Bosque de Chapultepec 2270 m (Ancona 1947, Díaz de León 1912, Martens 1890-1901, Solem 1955)	Parques y Jardines Urbanos
Drymaeus sulcosus	Orthalicidae	Alrededores de la Ciudad de México, Valle de México, Tacubaya (Martens 1890-1901, Solem 1955); Desierto de los Leones a La Venta 2954-3000 m, Cuajimalpa a Santa Rosa 2600-2800 m (Solem 1955), Desierto de los Leones (Jacobson 1952), Chapultepec (Ancona 1947)	Bosques y Cañadas, Parques y Jardines Urbanos

Cuadro 1. Continuación.

Especie	Familia	Localidad Eje	Regionalización Ciudad de México
Drymaeus sulphureus	Orthalicidae	Alrededores de la Ciudad de México (Díaz de León 1912, Martens 1890-1901, Pilsbry 1899*a*)	Parques y Jardines Urbanos
Euconulus fulvus	Euconulidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2013)	
Euglandina daudebarti cf. *miradorensis*	Spiraxidae	Ciudad de México (Martens 1890-1901); Reserva Ecológica Pedregal de San Angel (Rivera 2008, 2013)	Parques y Jardines Urbanos
Euglandina indusiata	Spiraxidae	Ciudad de México (Díaz de León 1912)	Parques y Jardines Urbanos
Euglandina liebmanni	Spiraxidae	Cerca de la Ciudad de México (Díaz de León 1912, Martens 1890-1901)	Parques y Jardines Urbanos
Euglandina michoacanensis	Spiraxidae	Cuajimalpa a Santa Rosa 2600-2800 m, Ciudad de México (Baker 1941)	Parques y Jardines Urbanos
Euglandina sp.	Spiraxidae	Bosque de Tlalpan (Taracena Morales 2008)	Parques y Jardines Urbanos
Gastrocopta pellucida hordeacella	Vertiginidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2013)	
Glyphyalinia indentata paucilirata	Zonitidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2013)	
Guppya sp.	Euconulidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2008); Cantera Oriente, Zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Vital 2009)	Parques y Jardines Urbanos
Hawaiia minuscula minuscula	Zonitidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2013)	
Helix aspersa	Helicidae	Parques y jardines de la ciudad (Ancona 1947), Tlalpan (Pilsbry 1903), Chapultepec, Tacubaya (Díaz de León 1912, Jacobson 1952), Bosque de Tlalpan (Taracena Morales 2010); Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel (Rivera 2008); Cantera Oriente, Zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Vital 2009)	Parques y Jardines Urbanos
Humbodltiana buffoniana	Humboldtianidae	Desierto de los Leones, Cuajimalpa, Ciudad de México (Fischer y Crosse - 1870-1900); San Bartolo (Ancona 1947), alrededores de la Ciudad de México (Díaz de León 1912)	Bosques y Cañadas, Parques y Jardines Urbanos
Humboldtiana humboldtiana	Humboldtianidae	Alrededores de la Ciudad de México (Ancona 1947)	Parques y Jardines Urbanos
Lehmannia valentiana	Limacidae	Bosque de Tlalpan (Taracena Morales 2010), Cantera Oriente, Zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Vital 2009)	Parques y Jardines Urbanos
Limax flavus	Limacidae	Tlalpan, Ajusco, Delegación Cuauhtémoc y Magdalena Contreras (CNMO)	Jardines Urbanos y Jardines de Hogares
Limax maximus	Limacidae	El Desierto de Los Leones (Baker 1930, Thompson 2011)	Parque, Jardines Urbanos y Jardines de Hogares
Milax gagates	Milacidae	El Desierto de Los Leones (Baker 1930, Thompson 2011)	Parque

Cuadro 1. Continuación.

Especie	Familia	Localidad Eje	Regionalización Ciudad de México
Oxychilus draparnaudi	Zonitidae	Bosque de Tlalpan (Taracena Morales 2010); Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2008, 2013); Cantera Oriente, Zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel (Vital 2009)	Parques y Jardines Urbanos
Oxyloma tlalpamensis tlalpamensis	Succineidae	Tlalpan (Díaz de León 1912, Martens 1890-1901, Pilsbry 1899b, 1903), Xochimilco (Jacobson 1952)	Parques y Jardines Urbanos, Humedales de Xochimilco y Tláhuac
Pallifera costaricensis alticola	Philomycidae	Desierto de los Leones (9850 ft), Santa Rosa (8525 ft), Cuajimalpa a Santa Rosa 2600-2800 m, Bosque de Chapultepec, 2270m (Baker 1930)	Bosques y Cañadas, Parques y Jardines Urbanos
Paralaoma servilis	Punctidae	Reserva Ecológica Pedregal de San Ángel (Rivera 2008, 2013), Cantera Oriente, Zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Vital 2009)	Parque Urbano y Sitio Perturbado (Cantera Oriente)
Punctum (Toltecia) conspectum jaliscoensis	Punctidae	Chapultepec 2270m	Parque Urbano
Pupisoma michoacanensis	Vertiginidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2013)	Reserva Ecológica
Radiodiscus millecostatus costaricanus	Charopidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2008)	Parques y Jardines Urbanos
Rotadiscus hermanni hermanni	Charopidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2013)	Reserva Ecológica
Rotadiscus hermanni nivatus	Charopidae	La Venta y el Desierto de los Leones 2954-3000 m (Baker 1930)	Bosques y Cañadas
Succinea campestris	Succineidae	Borde en los canales de Xochimilco (Contreras 1930)	Humedales de Xochimilco y Tláhuac
Succinea sp. 1	Succineidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2008)	Parques y Jardines Urbanos
Succinea sp. 2	Succineidae	Cantera Oriente, zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Vital 2009)	
Género y especie indeterminados	Succineidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rivera 2008)	Reserva Ecológica
Volutaxis paztcuarensis	Spiraxidae	Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel (Rivera 2013)	Reserva Ecológica
Zonitoides arboreus	Gastrodontidae	Cantera Oriente, zona de amortiguación de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Vital 2009)	Parques y Jardines Urbanos

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Lista alfabética de las especies dulceacuícolas para la Ciudad de México, con la familia, la localidad y el autor del registro.

Especie	Familia	Localidad	Regionalización biótica D. F.
Anodonta impura	Unionidae	Xochimilco (Contreras 1930, Bourgeois 1948, Jacobson 1952)	Humedales de Xochimilco y Tláhuac
Laevapex papillaris	Ancylidae	Tlalpan (Pilsbry 1903)	Parques y Jardines Urbanos
Physa acuta	Physidae	Ciudad de México (Martens 1890-1901), Lago de Xochimilco (Contreras 1930, Jacobson 1952), Tlalpan (Pilsbry 1903), Valle de México (Contreras 1917)	Humedales de Xochimilco y Tláhuac; Parques y Jardines Urbanos
Pisidium abditum	Pisidiidae	Tlalpan (Pilsbry 1903)	Parques y Jardines Urbanoss
Planorbella duryi	Planorbidae	Jardín Botánico, Ciudad Universitaria (Rivera 2013)	Reserva
Planorbella tenue	Planorbidae	Ciudad de México y alrededores (Martens 1890-1901), Valle de México, Xochimilco (Contreras 1930, Jacobson 1952)	Humedales de Xochimilco y Tláhuac; Parques y Jardines Urbanos
Pseudosuccinea columella	Lymnaeidae	Jardín Botánico, Ciudad Universitaria (Rivera 2013)	Reserva
Sphaerium triangulare	Pisidiidae	Alrededores de la Ciudad de México (Pilsbry 1903)	Probablemente Humedales de Xochimilco y Tláhuac
Sphaerium subtransversum	Pisidiidae	Alrededores de la Ciudad de México (Martens 1890-1901), Xochimilco, Valle de México (Contreras 1930, Jacobson 1952), Tlalpan (Pilsbry 1903)	Humedales de Xochimilco y Tláhuac; Parques y Jardines Urbanos
Lymnaea attenuata	Lymnaeidae	Ciudad de México y alrededores (Martens 1890-1901), Tlalpan (Pilsbry 1903), Valle de México (Contreras 1917, 1930), Xochimilco (Jacobson 1952)	Humedales de Xochimilco y Tláhuac; Parques y Jardines Urbanos
Tryonia mariae	Hydrobiidae	Ciudad de México, Tlahuac (Morrison 1945)	Tláhuac
Valvata humeralis	Valvatidae	Lagos alrededor de México, Xochimilco (Martens 1890-1901)	Humedales de Xochimilco y Tláhuac

Fuente: elaboración propia.

con las localidades y autores del registro. En el capítulo "Moluscos: caracoles, babosas y almejas", que se encuentra en esta obra, se abordan también aspectos de las especies actuales de este grupo. En el apéndice 5 y en el cuadro 2, se muestran las listas correspondientes para los moluscos dulceacuícolas, ocho familias (de las 16 reconocidas por Naranjo-García 2003), nueve géneros y doce especies (figura 2). La especie dulceacuícola *Planorbella* (*Seminolina*) *duryi* nativa del norte y sur de Florida, Estados Unidos (Burch, 1989), se ha registrado introducida en el Jardín Botánico de la Ciudad Universitaria.

Diversidad de los moluscos fósiles

Los moluscos fósiles mexicanos son menos conocidos. Arroyo-Cabrales *et al.* (2008) registran para el Pleistoceno final 51 especies pertenecientes a 27 familias continentales, 20 terrestres (tres prosobranquios y 17 pulmonados) y 7 dulceacuícolas (tres prosobranquios y cuatro pulmonados) (figura 4). Para la Ciudad de México, existe sólo el trabajo de Morrison (1945), en el que registra los moluscos dulceacuícolas fósiles pleistocénicos o pospleistocénicos recolectados de Tláhuac. La revisión realizada en este trabajo permite afirmar que no existen registros de especies terrestres (figura 5).

La fauna fósil se encontró en sedimentos lacustres de Tláhuac (Morrison 1945), la muestra se colectó en un estrato de conchas, a 1 m de profundidad en el lecho seco del lago de Tláhuac, 20 km al este de Xochimilco. Una muestra adicional del mismo estrato se obtuvo a 1 km de distancia (no menciona en qué dirección) a 1.8 m de profundidad.

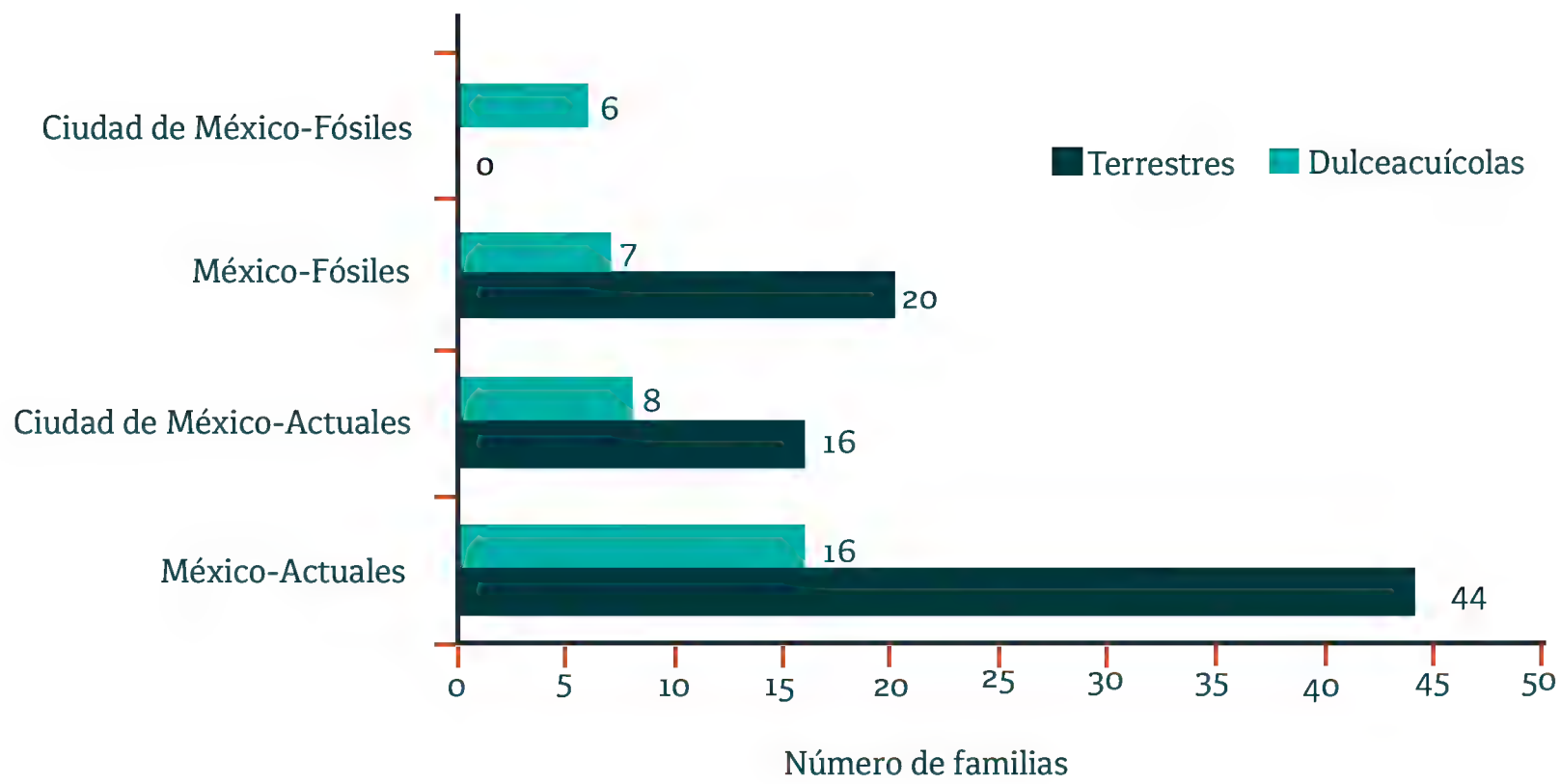


Figura 4. Número de familias actuales y fósiles para México y la Ciudad de México. Fuente: Morrison 1945; Arroyo-Cabrales *et al.* 2008; esta contribución; dulceacuícolas, Naranjo-García 2003; terrestres, Naranjo-García y Fahy 2010.

Cuadro 3.Lista alfabética de las especies de moluscos fósiles de la Ciudad de México, con la familia, la localidad y actualización de la nomenclatura.

Nombre usado por Morrison (1945)	Nombre actual	Familia	Localidad
Durangonella mariae	*Tryonia mariae*	Hydrobiidae	Estrato seco del Lago de Tláhuac, 20 km al E de Xochimilco, Ciudad de México
Ferrisia sp.	*Ferrisia* sp.	Ancylidae	Estrato seco del Lago de Tláhuac, 20 km al E de Xochimilco, Ciudad de México
Gyraulus parvus (Say, 1817)	*Gyraulus parvus*	Planorbidae	Estrato seco del Lago de Tláhuac, 20 km al E de Xochimilco, Ciudad de México
Helisoma tenue chapalense *Helisoma tenue chapalensis*	*Planorbella (Pierosoma) tenue*	Planorbidae	Estrato seco del Lago de Tláhuac, 20 km al E de Xochimilco, Ciudad de México
Musculium subtransversum	*Sphaerium subtransversum*	Sphaeriidae	Estrato seco del Lago de Tláhuac, 20 km al E de Xochimilco, Ciudad de México
Physella osculans	*Physa acuta*	Physidae	Estrato seco del Lago de Tláhuac, 20 km al E de Xochimilco, Ciudad de México
Pisidium sp.	*Pisidium* sp.	Sphaeriidae	Estrato seco del Lago de Tláhuac, 20 km al E de Xochimilco, Ciudad de México
Valvata humeralis	*Valvata humeralis*	Valvatidae	Estrato seco del Lago de Tláhuac, 20 km al E de Xochimilco, Ciudad de México

Fuente: elaboración propia.

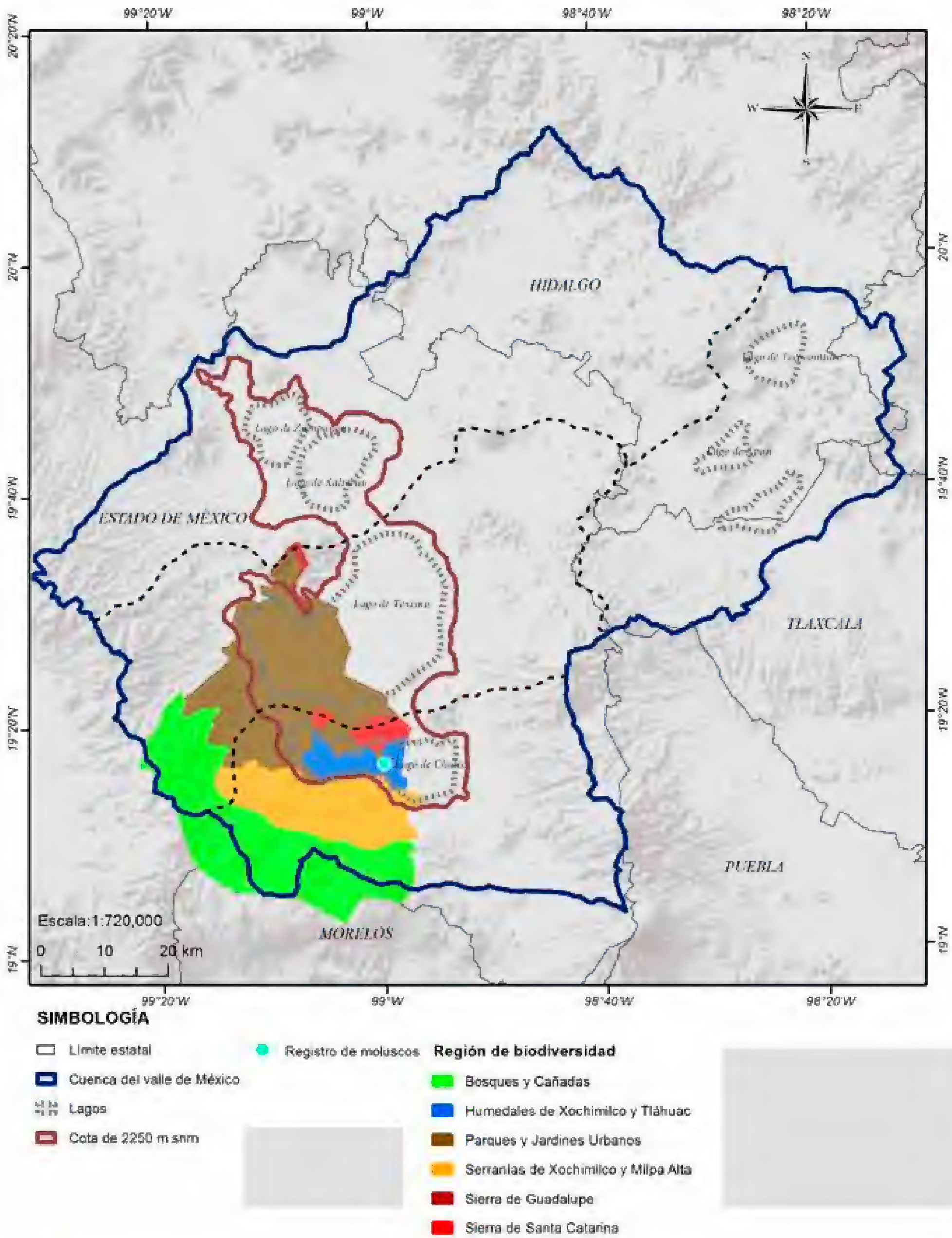


Figura 5. Localización del registro fósil de moluscos. Fuente: elaboración propia.

En el apéndice 6 y el cuadro 3, se presenta la lista sistemática de las especies fósiles pleistocénicas o pospleistocénicas y la lista de especies en orden alfabético con el nombre actual, localidad y autor del registro, respectivamente.

Morrison (1945) identifica en total ocho especies pertenecientes a seis familias, dos de prosobranquios, tres de pulmonados y una de bivalvos. Si se comparan los moluscos actuales con los fósiles (cuadro 4), tenemos que la familia *Hydrobiidae* sólo se encuentra en el registro fósil; cinco familias, *Valvatidae, Physidae, Planorbidae, Ancylidae* y *Sphaeriidae* se registran para el Pleistoceno final y el reciente u Holoceno (11 500 años antes del presente hasta la actualidad), mientras que las familias *Lymnaeidae* y *Unionidae* sólo se han registrado en la fauna actual.

Aspectos biológicos generales

En esta sección se mencionan en el orden propuesto por Vaught (1989), aspectos biológicos de las familias a las que pertenecen las especies dulceacuícolas registradas para la ciudad, actuales y fósiles.

Es pertinente resaltar que cuatro especies se han registrado para la Ciudad de México sólo como fósiles del Pleistoceno (cuadro 4): *Tryonia mariae, Gyraulus parvus, Ferrisia* sp., *Pisidium* sp. y seis especies se registran sólo en el reciente: *Lymnaea attenuata, Pseudosuccinea columella, Laevapex papillaris, Anodonta impura, Pisidium abditum* y *Sphaerium triangulare*.

La familia Valvatidae (*Valvata humeralis*) tiene una concha deprimida que presenta enrollamiento hacia la derecha, es de talla pequeña (menores de 5 mm), posee un opérculo córneo, presenta una branquia bipectinada semejante a una pluma y un tentáculo paleal, y, con excepción de una especie europea, son hermafroditas (Heard 1982, Burch y Cruz-Reyes 1987); habitan en el hemisferio norte, en cuerpos de agua cerrados o de agua corriente, y prefieren las zonas profundas de los lagos (Heard 1982, Dillon 2006) (figura 6). El registro más reciente de *Valvata humeralis* es el mencionado por Martens (1890) para los lagos de los alrededores de la ciudad de México, en la actualidad no se le ha encontrado y probablemente deba considerársele extirpada.

Cuadro 4. Comparación de los registros de especies dulceacuícolas actuales y fósiles de la Ciudad de México.

Clase	Subclase	Orden	Familia	Especie	Actual	Pleistocénica
Gatropoda	Prosobranchia	Mesogastropoda	Valvatidae	*Valvata humeralis*	X	X
			Hydrobiidae	*Tryonia mariae*		X
	Pulmonata	Basommatophora	Lymnaeidae	*Pseudosuccinea columella*	X	
				Lymnaea attenuata	X	
			Physidae	*Physa acuta*	X	X
			Planorbidae	*Gyraulus parvus*		X
				Planorbella duryi	X	
				Planorbella tenue	X	X
			Ancylidae	*Ferrissia sp.*		X
				Laevapex papillaris	X	
Bivalvia	Paleoheterodonta	Trigoinoida	Unionidae	*Anodonta impura*	X	
	Heterodonta	Veneroida	Sphaeriidae	*Pisidium abditum*	X	
				Pisidium sp.		X
				Sphaerium subtransversum	X	X
				Sphaerium triangulare	X	

Fuente: elaborado por el autor con información de: Morrison 1945; Arroyo-Cabrales *et al*. 2008; esta contribución; dulceacuícolas, Naranjo-García 2003; terrestres, Naranjo-García y Fahy 2010.

Figura 6. *Valvata humeralis*. A la izquierda, vista de la abertura; a la derecha, vista dorsal. Procedencia: Chalco, Estado de México, Colección Nacional de Moluscos, Instituto de Biología, UNAM. Fotos: Edna Naranjo García.

Figura 7. *Tryonia mariae*. A la izquierda, vista de la abertura; a la derecha, vista dorsal. Procedencia: Chalco, Estado de México, Colección Nacional de Moluscos, Instituto de Biología, UNAM. Fotos: Edna Naranjo García.

La familia Hydrobiidae incluye organismos que poseen una concha con enrollamiento hacia la derecha, de forma muy variable (cónica, alargada, deprimida o turriforme) (Burch y Cruz-Reyes 1987), son de tamaño pequeño (de 1 a 6 mm), con un opérculo córneo. Hay especies dulceacuícolas y salobres, son raras las especies terrestres, se alimentan de partículas finas o raspan las diatomeas y otros microorganismos que encuentran sobre las superficies firmes, también comen animales heridos o muertos (Taylor 1966). Las hembras del género *Tryonia* son ovovivíparas (Morrison 1945), *T. mariae* hasta el momento se considera como extinta, pues no ha sido registrada en ningún cuerpo de agua de la Cuenca de México (figura 7).

Las especies de la familia Lymnaeidae poseen una concha enrollada hacia la derecha, pocas veces hacia la izquierda, ovalada u oblonga o alongada, espira atenuada, el eje columelar está engrosado y típicamente girado, el peristoma es delgado y afilado y la concha está cubierta por un periostraco de color más oscuro (Baker 1911).

Figura 8. *Lymnaea attenuata*. A la izquierda, vista de la abertura; a la derecha, vista dorsal. Procedencia: Tepexpan, Estado de México, Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, INAH. Fotos: Edna Naranjo García.

Lymnaea attenuata es un caracol grande (hasta 35 mm) que vive sobre las playas de lagos someros, en profundidades de 10 a 35 cm o más. Se encuentran comúnmente sobre el fondo lodoso o en la vegetación de las orillas (Baker 1911), suele ser abundante en compañía de Planorbella tenue (Martens 1890-1901), por lo que es posible que haya vivido junto con las especies fósiles. Tanto *L. attenuata* como *P. tenue* son indicadoras de cuerpos de agua someros y limpios (Contreras 1917) (figura 8).

Los integrantes de la familia Physidae poseen una concha con enrollamiento hacia la izquierda, espira alta, alongada, subglobosa o globular, superficie opaca a brillante, su identificación se basa en caracteres anatómicos (Burch 1989, Taylor 2003). *Physa acuta* habita en aguas perennes de zonas templadas, cerca de la corriente de manantiales, arroyos pequeños, riachuelos y ríos, es tolerante a los contenidos de yeso y otras sales, así como a la contaminación y las altas temperaturas (Taylor 2003). Es originaria de América y en la actualidad se distribuye en casi todo el mundo, en parte debido a su introducción involuntaria por actividades humanas (Smith 1989) (figura 9).

Los integrantes de la familia Planorbidae tienen en la mayoría de los casos conchas discoidales, con enrollamiento hacia la izquierda, son de tamaño pequeño a relativamente grande (de 1 a más de 30 mm), poseen una branquia secundaria ubicada en el lado izquierdo cerca del pneumostoma (poro respiratorio). Una característica única de la familia es que el pigmento respiratorio es la hemoglobina (Burch 1982, Burch 1989). *Gyraulus parvus* es una especie que llega a medir 5 mm de diámetro, habita cuerpos de agua pequeños, someros o pantanos, prefiere los sitios con vegetación abundante, su distribución actualmente no abarca el centro de México, habita en los Estados Unidos de América al este de las Montañas Rocallosas, desde Florida hasta Alaska y el norte de Canadá (Baker 1928). En México se le ha encontrado en el río Nacozari, noreste de Sonora, a 7 millas al sur de Nacozari (Branson y McCoy 1964) y en el río Raíces, Allende, Nuevo León (Contreras-Arquieta 1991) y no hay registros actuales para el la Ciudad de México.

Planorbella tenue posee una concha de hasta 20 mm de diámetro, vive en cuerpos de agua estacionales (Taylor 1981) y se distribuye en la franja costera oeste, desde el sur de Oregon, EUA, hasta Oaxaca, en el extremo sur de la altiplanicie mexicana, en la Faja Volcánica Transmexicana y en Veracruz (Naranjo-García y Olivera Carrasco 2007) (figura 10).

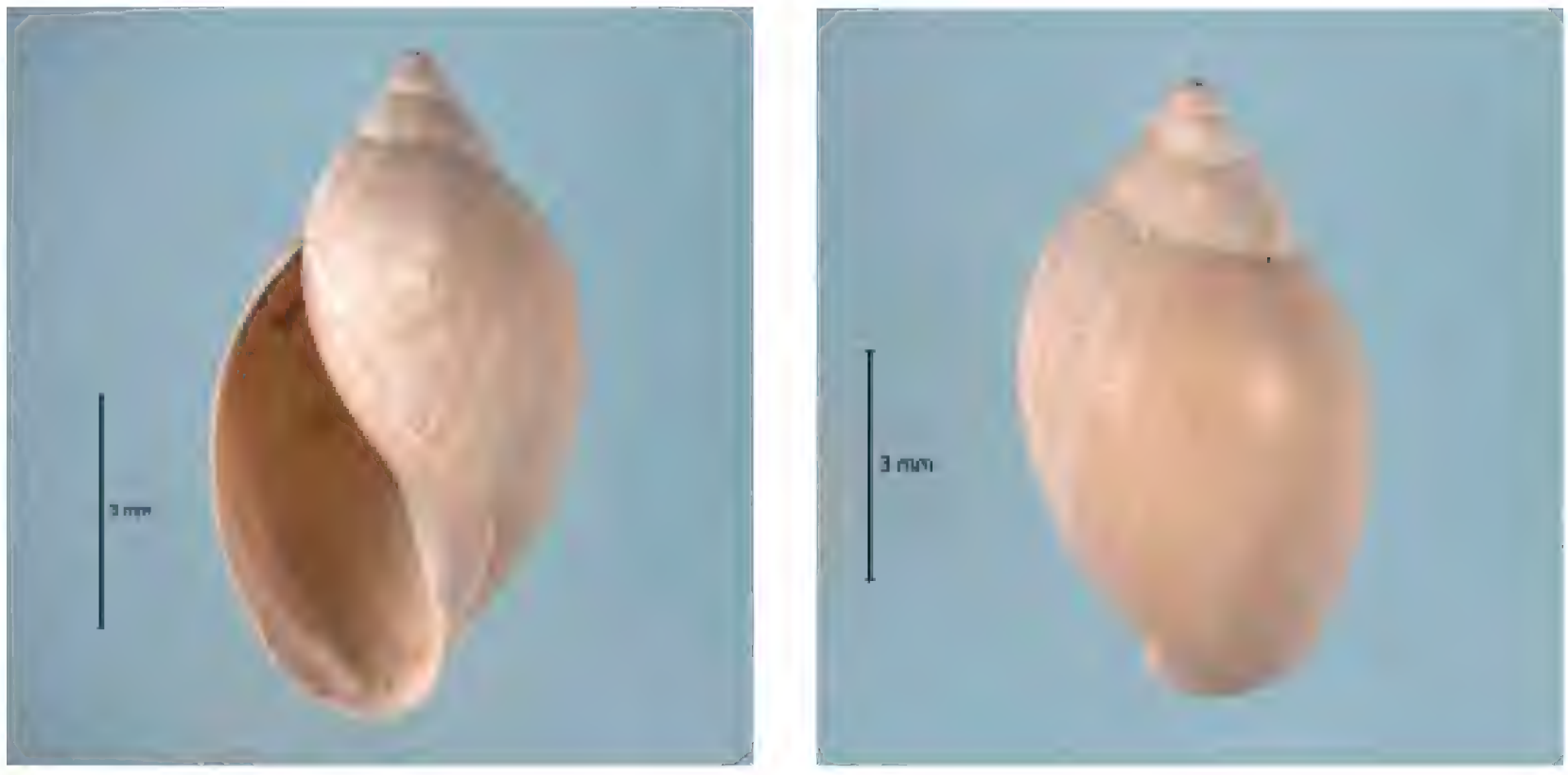


Figura 9. *Physa acuta*. A la izquierda, vista de la abertura; a la derecha, vista dorsal. Procedencia: Tepexpan, Estado de México, Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, INAH. Fotos: Edna Naranjo García.

Figura 10. *Planorbella tenue*. A la izquierda, vista de la abertura; a la derecha, vista del ápice de la concha. Procedencia: Chalco, Estado de México, Colección Nacional de Moluscos, Instituto de Biología, UNAM. Fotos: Edna Naranjo García.

La familia Ancylidae se distribuye en todo el mundo, se caracteriza por poseer una concha pequeña en forma de lapa con el ápice en o inclinado hacia el lado derecho. Por ejemplo, en el lago Windermere, Inglaterra, se adhieren a ramillas de plantas acuáticas de los géneros: *Schoenoplectus, Typha, Phragmites,* o de lirios acuáticos (Dillon 2010). En algunos arroyos tributarios del río Lacantún, Chiapas, se les encuentra debajo de ramas o de hojas muertas (Naranjo-García datos no publicados) y son organismos herbívoros (Dillon 2010). *Ferrisia* habita sobre plantas, almejas vivas y rocas en arroyos corrientes, estaques, ríos y lagos (Baker 1928), no hay registros actuales para la Ciudad de México.

La familia Unionidae se caracteriza por poseer una concha formada de dos partes: una valva izquierda y otra derecha unidas por un ligamento dorsal. La forma, tamaño, grosor y color de la concha es muy variable (Parmalee y Bogan 1998). La almeja *Anodonta impura* presenta una larva denominada gloquidio, que para su desarrollo se adhiere a las

branquias de los peces durante un tiempo (indispensables para esta etapa). Su distribución abarca el sur de California en los EUA, Jalisco, Michoacán, Estado de México y Ciudad de México, incluyendo los lagos de Chalco y Xochimilco (Haas 1969, Martens 1890-1901). En la Ciudad de México las almejas constituyeron un recurso alimenticio local muy utilizado. La sobreexplotación de la población y la contaminación del lago se reflejaron en la disminución del tamaño de las almejas. En 1948, Bourgeois publica el hallazgo de un ejemplar incompleto de 90 mm de largo y menciona que posee una talla mayor a la mencionada en la descripción y a la de los ejemplares que entonces se colectaban. La presión antrópica continuó hasta agotar el recurso en la ciudad, en donde en la actualidad es una especie extirpada. Todavía en 1950, Jacobson (1952) registró la almeja en Xochimilco asociada a *Lymnaea attenuata*, *Planorbella tenue*, *Physa acuta* y *Sphaerium subtransversum*. La concha de *Anodonta impura* es muy frágil y una vez que se extrae de su ambiente empieza a romperse y se destruye en poco tiempo, por lo que es difícil encontrarla en el registro fósil; sin embargo, no se descarta la posibilidad de hallarla en algún estrato que reúna las condiciones óptimas para su conservación (figura 11).

Figura 11. *Anodonta impura* (ejemplar actual). A la izquierda, vista externa de las valvas derecha e izquierda; a la derecha, vista interna. Procedencia: Zacapú, Michoacán, Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, INAH. Fotos: Edna Naranjo García.

Figura 12. *Sphaerium subtransversum*. A la izquierda vista externa de las valvas derecha e izquierda, a la derecha vista interna. Procedencia: Tepexpan, Estado de México, Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, INAH. Fotos: Edna Naranjo García.

La familia Sphaeriidae agrupa los bivalvos dulceacuícolas más pequeños, con frecuencia diminutos y delgados. El ligamento que mantiene unidas a las dos valvas es corto y no está bien desarrollado (Herrington 1962). Son hermafroditas, tienen una distribución mundial, viven enterrados en el sustrato más fino en diversos ambientes, desde grandes ríos y lagos hasta arroyos, turberas y estanques temporales (Korniushin 2006); hay dos especies registradas para la zona de estudio (cuadro 2). La concha de *Sphaerium triangulare* presenta una escultura de anillos concéntricos o estrías gruesas un poco irregulares, el umbo (parte más antigua y elevada del margen dorsal de la valva, es decir, la concha embrionaria alrededor de la cual se da el crecimiento de forma semi-concéntrica – Burch 1975) es casi central; en contraste, la concha de *S. subtransversum* es frágil con umbos en forma de cáliz o copa, con una banda de color más claro hacia el borde ventral, con la superficie brillante y con estrías finas y delicadas (Pilsbry 1903) (figura 12).

Discusión y conclusión

La comunidad de moluscos pleistocénicos confirma que el lago de Tláhuac era de agua dulce con existencia de manantiales (presencia de *Tryonia mariae*), tenía partes someras (indicado por *Planorbella tenue* y *Ferrissia* sp.) y profundas (*Valvata humeralis*) con vegetación acuática (*Gyraulus parvus*). Es evidente que las especies presentes en el registro fósil y actual, cuyo registro más reciente es de Jacobson (1952) (cuadro 4), muestran su adaptabilidad al cambio de condiciones climáticas que se dieron a finales del Pleistoceno (aproximadamente hace 11 500 años antes del presente), cuando también terminó la última glaciación. Entonces el clima era templado, más frío que en la actualidad, con veranos menos cálidos y húmedos, así como inviernos menos fríos y más húmedos, e inició el cambio hacia veranos más cálidos y húmedos e inviernos más fríos y secos, como lo son en la actualidad (García Calderón y de la Lanza Espino 1995, Metcalf *et al.* 2000, Ortega-Ramírez *et al.* 2004). En relación con las especies que sólo están presentes en el registro fósil, Morrison (1945) menciona que *Tryonia mariae* es la más abundante en las muestras por él estudiadas y que el resto de especies se presentan en número mucho menor. El dominio de *T. mariae* indica que las condiciones ambientales le fueron muy favorables (abundante presencia de manantiales), que hubo un cambio drástico en el medio y en consecuencia en el lago, que dio lugar a modificaciones en la composición de la comunidad. Así, varias especies desaparecieron del sitio, como es el caso de *Gyraulus parvus*, cuyo límite sur de su distribución actual está en el río Raíces, Allende, Nuevo León (Contreras-Arquieta 1991); no se tiene mayor información del resto de las especies.

Las cinco especies con registro sólo para el reciente u Holoceno (cuadro 4) se encontraban aún en los canales de Xochimilco aproximadamente hasta la década de los ochenta; sin embargo, la influencia humana por la construcción de presas, la agricultura en chinampas, el asolvamiento de manantiales, la extracción del agua, la contaminación de las aguas y el continuo movimiento del sustrato por el paso de las trajineras (Espinosa *et al.* 2009, Espinosa Pineda 1996, Mazari-Hiriart *et al.* 2011) afectó las poblaciones de las especies que requieren de aguas muy limpias y tranquilas, como es el caso de la almeja *Anodonta impura*, los caracoles *Lymnaea attenuata* y *Planorbella tenue*, así como de los peces. La situación de estas comunidades debe evaluarse por medio de colectas actuales en todos los cuerpos de agua que aún existen en la ciudad, incluyendo las reservas naturales, áreas de cultivo, parques y jardines urbanos.

El conocimiento de la flora y fauna fósil podría ampliarse a partir de las excavaciones que se realizan en la construcción de edificios altos y líneas del metro subterráneas, así como en la excavación de pozos para obtención de agua, considerando en los proyectos la participación de investigadores especializados en geología (sedimentología, química de suelos, geología estructural y tectónica), botánica, zoología y paleontología.

Nota: Las imágenes de los moluscos pequeños se tomaron en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México con el Microscopio Leica para fotografía multifocal (Microscopio Leica Z16ApoA con Leica Application Suite, y cámara Leica DFC490-8 megapixeles). La almeja *Anodonta impura* se fotografió en el Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia, con una cámara digital convencional.

Referencias

Ancona, I. 1947. Moluscos del Distrito Federal. *Anales del Instituto de Biología* 18(1):151-158.

Arroyo-Cabrales,J., A.L. Carreño, S. Lozano-García, *et al.* 2008. La diversidad en el pasado. pp. 227-262. En: *Capital Natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad.* CONABIO, México.

Baker, F.C. 1911. The Lymnaeidae of North and Middle America recent and fossil. The Chicago Academy of Sciences, Special Publication (3). i-xvi, 1-539 pp., pl. 1-58.

——. 1928 (1972). The freshwater Mollusca of Wisconsin. *Bulletin of the Wisconsin Geological and Natural Sciences* 70: Part I. Gastropoda, pp: i-xx, 1-507 pp. pl. 1-28; Part II, Pelecypoda, pp: i-vi, 1-495, pl. 29-105.

Baker, H.B. 1930. Mexican mollusks collected for Dr. Bryant Walker in 1926. Part II. Auriculidae, Orthurethra, Heterurethra, and Aulacopoda. *Occasional Papers of the Museum of Zoology,* University of Michigan (220): 1-45, p VII-XI.

——. 1941. Outline of American Oleacininae and new species from Mexico. The Nautilus 55(2):51-61.

——. 1942. A new genus of Mexican helicids. *The Nautilus* 52(6): 37-41.

Bouchet, P. y J.-P. Rocroi. 2005. Classification and Nomenclator of gastropod Families. Malacologia 47 (1-2): 1-397.

Bourgeois, M.E. 1948. *Anodonta impura* (Say) from Mexico. *Minutes Conchological Club Southern California* (77):2-3.

Branson, B.A. y C.J. McCoy, Jr. 1964. Notes on Sonoran gastropods. The Southwestern Naturalist 9(2):103-104.

Burch, J.B. 1962. *How to know the eastern land snails.* WM. C. Brown Company Publishers.

——. 1982. Freshwater snails (Mollusca: Gastropoda) of North America. Environmental Monitoring and Support Laboratory Office of Research and Development U. S. Environmental Protection Agency..

——. 1989. North American freshwater snails. Malacological Publications, Hamburg, Michigan.

Chapman, A.D. 2009. Numbers of living species in Australia and the world. Report for the Australian Biological Resources Study. Department of Environment, Water, Heritage and the Arts. Australian Government.

Contreras-Arquieta, A. 1991. *Los caracoles dulceacuícolas (Mollusca: Gastropoda) de la Subcuenca San Juan, tributario del Río Bravo, noreste de México.* Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas.

——. 2000. Bibliografía y lista taxonómica de las especies de moluscos dulceacuícolas en México. *Mexicoa* 2(1):40-53.

Contreras, F. 1917. Observaciones sobre algunos moluscos del Valle y utilidad que prestan. *Boletín de la Dirección de Estudios Biológicos* 2(1):3-6, 1 lámina.

——. 1930. Moluscos del Lago de Xochimilco, D. F. *Anales del Instituto de Biología,* UNAM 1930:39-46.

Cowie, R. H. 1993. Identity, distribution and impacts of introduced Ampullariidae and Viviparidae in the Hawaiian Islands. *Journal of Medical and Applied Malacology* 5:61-67.

Díaz de León, J. 1912. Mollusca. Catalogus Molluscarum Mexicanae Republicae hucusque descripta. *La Naturaleza,* Periódico Científico del Museo Nacional de Historia Natural y de la Sociedad Mexicana de Historia Natural Ser 3, 1 (3):93-143.

Dillon, R. T. Jr. 2006. Freshwater Gastropoda. pp. 251-259. En: *The Mollusks: A guide to their study, collection and preservation*. C. F. Sturm, T. A. Pearce y A. Valdés (eds.). American Malacological Society.

——. 2010. *The ecology of freshwater molluscs*. Cambridge University Press.Cambridge, Inglaterra.

Espinosa, A. C., C. F. Arias, S. Sánchez-Colón y M. Mazari-Hiriart. 2009. Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacterias for evaluating water quality in a tropical high-altitude system. *Environmental Health: Global Access Science Source* (1): Art. 49.

Espinosa Pineda, G. 1996. *El embrujo del lago: El sistema lacustre de la cuenca de México en la cosmovisión mexica*. UNAM.

Evans, J. 1972. Land snails in Archaeology. Seminar Press, London and New York. Fischer, P. y H. Crosse. 1870-1900. Études sur les mollusques terrestres et fluviatiles du Mexique et du Guatemala. Mission Scientifique au Mexique et dans l'Amérique Centrale et du Mexique. Imprimerie Nationale, Paris, Septième partie, Tome I, 702 pp., Tome II.

García Calderón, J.L. y G. de la Lanza Espino. 1995. La Cuenca de México. pp. 27-50. En: *Lagos y presas de México*, G. de la Lanza Espino y J. L. García Calderón (compiladores). Centro de Ecología y Desarrollo de México, D. F.

Geiger, D. L. 2006. Marine Gastropoda. pp. 295-312. En: The Mollusks: A guide to their study, collection and preservation. C. F. Sturm, T. A. Pearce y A. Valdés (eds.). American Malacological Society.

Haas, F. 1969. Superfamilia Unioniacea. Das Tierrich, Liéferung 88, i-x, 1-663 pp.

Heard, W.H. 1982. Valvatidae. pp. 67-74. En: Freshwater snails (Mollusca:Gastropoda) of North America, J. B. Burch. Environmental Monitoring and Support Laboratory Office of Research and Development U. S. Environmental Protection Agency.

Herrington, H.B. 1962. A revision of the Sphaeriidae of North America (Mollusca: Pelecypoda). *Miscellaneous Publications Museum of Zoology*, University of Michigan (118), pp:1-74, 1-7 pl.

Jacobson, M.K. 1952. Some interesting localities on a trip to Mexico. *The Nautilus* 65(4):109-114.

Karatayev, A.Y., L.E. Burlakova, V.A. Karatayev, D.K. Padilla. 2009. Introduction, distribution, spread, and impacts of exotic freshwater gastropods in Texas. *Hidrobiologia* 19:181-194.

Korniushin, A. V. 2006. Non-Unionid freshwater bivalves. pp. 327-337. En: The Mollusks: A guide to their study, collection and preservation. C. F. Sturm, T. A. Pearce y A. Valdés (eds.). American Malacological Society.

Lydeard, C., R.H. Cowie, W.F. Ponder., *et al*. 2004. The global decline of nonmarine mollusks. *Bioscience* 54:321-330.

Martens, E. Von. 1890-1901. Land and Freshwater Mollusca. Biologia Centrali-Americana, Londres, pp: i-xxviii, 1-706, 1-44 pl.

Mazari-Hiriart, M. J. Jujnovski, L. Zambrano e I. Pisanty. 2011. Conservación y restauración: La transformación de la jungla humana continúa. *Oikos* (3):9-14.

Metcalf, S.E., S.L. Ohara, M. Caballero y S.J. Davies. 2000. Records of late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico – a review-. *Quaternary Science Review* 19:699-721.

Morrison, J.P.E. 1945. *Durangonella*, a new Hydrobiine genus from Mexico, with three new species. *The Nautilus* 59(1):18-23, pl. 3.

Naranjo-García, E. 1995-1996. Invertebrates exploiting terrestrial and freshwater mollusks. *Walkerana* 8(20):139-148.

——. 1997. Terrestrial gastropods from tropical rain forest leaf litter, southern Veracruz, México. *Annual Report of the Western Society of Malacologists* 30:40-46.

——. 2003. Moluscos continentales de México: Dulceacuícolas. *Revista de Biología Tropical* 51 (3):495-505.

Naranjo-García, E. y N.E. Fahy. 2010. The lesser families of Mexican terrestrial molluscs. *American Malacological Bulletin* 28: 59-80.

Naranjo-García E. y M.T. Olivera Carrasco. 2007. Mollusca terrestres. pp. 311-330. En: Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. I. Luna Vega, J. J. Morrone Lupi y D. Espinosa Organista (eds.). CONABIO / UNAM.

Olivera-Carrasco, M. T. 2012. Moluscos continentales de Cedral, un sitio del Pleistoceno final del México. Pp. 225-283. En: *Rancho "La Amapola", Cedral un sitio arqueológico-paleontológico pleistoceno-holocénico con restos de actividad humana*. L.E- Mirambell (coord.) Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Ortega-Ramírez, J., J.M. Maillol, W. Bandy, *et al*. 2004. Late Quaternary evolution of alluvial fans in the Playa, El Fresnal region, northern Chihuahua desert, Mexico: paleoclimatic implications. *Geofísica Internacional* 43(3):445-466.

Parmalee, P.W. y A.E. Bogan. 1998. The freshwater mussels of Tennessee. The University of Tennessee Press.

Pilsbry, H.A. 1899*a*. Manual of Conchology. XII. American Bulimulidae: North American and Antillean Drymaeus, Leiostracus, Orthalicinae and Amphibuliminae. Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 12: i-iii+ 1-258 pp., plts. 1-64.

——. 1899*b*. Description of new species of Mexican land and fresh-water mollusks. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 1899: 391-402.

——. 1903. Mexican land and freshwater mollusks. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 1903: 761-789, pl. 47-54.

Reise, H., J.M. C. Hutchinson, S. Schunack y B. Schlitt. 2011. Deroceras panormitanum and congeners from Malta and Sicily, with description of the widespread pest slug as Deroceras invadens n. sp. Folia Malacologica 19 (4): 201-223.

Rivera García, A. 2008. Moluscos terrestres de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Informe Jóvenes a la Investigación (inédito).

Rivera Hernández, J.E. y A. Espinoza Henze. 2007. Flora y vegetación del Distrito Federal. Pp. 231-253. En: *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. I. Luna, J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). CONABIO / UNAM.

Roper, C.F.E., M.J. Sweeney y C.E. Nauen. 1984. FAO species catalogue. Cephalopods of the World. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries. FAO Fisheries Synopsis (125), Vol. 3, 277 pp.

Smith, B.J. 1989. Travelling snails. *Journal of Medical and Applied Malacology* 1:195-204.

Solem, A. 1955. Mexican mollusks collected for Dr. Bryant Walker in 1926. XI. *Drymaeus. Occasional Papers of the Museum of Zoology*, University of Michigan (566):1-20, plts. I-V.

Solem, A. 1957. Notes on some Mexican land snails. *Notulae Naturae* 298:1-13.

Taracena Morales, V.J. 2010. Diversidad de moluscos terrestres recolectados en el Bosque de Tlalpan, Ciudad de México. Informe Jóvenes a la Investigación (inédito).

Taylor, D.W. 1966. A remarkable snail fauna from Coahuila, Mexico. *The Veliger* 9(2):152-228.

——. 1981. Freshwater mollusks of California: a distributional checklist. *California Fish and Game* 67(3):140-163.

——. 2003. Introduction to Physidae (Gastropoda: Hygrophila) *Revista de Biología Tropical* 51 (1):287 pp.

Thompson, F.G. 2011. An annotated checklist and bibliography of the land and freshwater snails from Mexico and Central America. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History* 50(1),

Thompson, F. G. y E. Naranjo-García. 2012. Echinichidae, a new family of dart-bearing helicoid slugs from Mexico, with description of a new genus and three new species. Archive für Molluskenkunde 141(2):197-208.

Vaught, K.C. 1989. *A classification of the living mollusca*. American Malacologist, Inc.

Vital Arriaga, X.G. 2009. Diversidad de Moluscos continentales en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, dentro de la Cantera Oriente. Informe Jóvenes a la Investigación (inédito).

Ostrácodos (Crustacea) de la cuenca de México: implicaciones paleontológicas y geoarqueológicas

Manuel Roberto Palacios Fest

Introducción

La reconstrucción de antiguos ambientes acuáticos continentales, naturales o asociados a asentamientos humanos, permite a los limnólogos, geomorfólogos y geoarqueólogos entender tanto los procesos locales como regionales que afectan el cambio climático y ambiental, así como el impacto que tales cambios tienen sobre las poblaciones humanas. La cuenca de México contiene un rico registro geológico lacustre asociado a la historia de ocupación humana que abarca al menos 12 mil años (Sedov *et al.* 2010). La paleontología y, en especial, la micropaleontología (estudio de organismos fósiles microscópicos) proporcionan evidencia de la historia ambiental en la región. Entre los grupos biológicos más relevantes en estas investigaciones están los ostrácodos (crustáceos) que habitan lagos, estanques, manantiales y cuerpos de agua artificiales (presas, reservorios y canales de irrigación).

Los ostrácodos son microcrustáceos caracterizados por estar provistos de un caparazón bivalvo de carbonato de calcio (calcita). Miden entre 0.5 y 2 mm, aunque ocasionalmente son mayores (figura 1). El caparazón es la única parte del organismo que se preserva en el registro fósil (Pokorný 1978, Horne *et al.* 2002). En aguas continentales son principalmente bentónicos habitan en el fondo de los cuerpos de agua , aunque algunas especies pueden nadar (nectónicas) alrededor de la vegetación sumergida (Forester 1991). Este grupo colonizó las aguas continentales desde el carbonífero (hace aproximadamente 360 millones de años, en la era paleozoica), pero en los océanos se han establecido desde el cámbrico (540 millones de años, era paleozóica).

Diversidad

Hoy en día, los ostrácodos son un grupo diverso y abundante tanto en el medio marino como en aguas continentales. Los paleontólogos han dedicado más tiempo al estudio de este grupo que los biólogos, por ello la ecología del grupo es pobremente conocida. Los ostrácodos habitan en lagos de todo el mundo. De un total que excede las 70 mil especies en la historia de la Tierra, aproximadamente 13 mil viven actualmente en mares y cuerpos de aguas continentales. Se conocen más de 2 mil especies modernas en gran número de cuerpos de agua continentales, incluso en sitios como los lagos Baikal y Tanganyika, donde existen cientos de especies endémicas de cada uno de ellos (Palacios-Fest *et al.* 2005; Martens *et al.* 2008). En el continente americano, son comunes y hasta abundantes en los Grandes Lagos, en el de Agassiz y Manitoba (Delorme 1978, Curry 1997). En México, han sido reportados en los lagos de Pátzcuaro y Cuitzeo, así como en el registro paleontológico del lago de Texcoco (Carreño 1990, Beekman 2009, Garduño-Monroy *et al.* 2011).

Palacios-Fest, M.R. 2016. Ostrácodos (Crustacea) de la cuenca de México: implicaciones paleontológicas y geoarqueológicas. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 303-310.

No obstante, en las pasadas tres décadas el estudio de los ostrácodos ha cobrado un gran auge debido a su alta sensibilidad a los cambios ambientales que los hace valiosos indicadores de las variaciones hidrogeológicas de cuerpos de agua actuales y "fósiles" (paleolagos) (Forester 1983, Palacios-Fest *et al.* 1994, Horne *et al.* 2002). Recientemente, Palacios-Fest (2012) utilizó métodos geoquímicos para medir las concentraciones de isotopos estables (carbono y oxígeno) y elementos traza (magnesio y estroncio) para establecer un índice de aridez combinando los valores obtenidos de 18O y 13C contra las relaciones Mg/Ca y Sr/Ca, de modo que es posible determinar, preliminarmente, los patrones de aridificación que han afectado al valle de Tucson durante el Holoceno tardío. El avance en el estudio de ostrácodos por métodos tradicionales y geoquímicos continua ofreciendo alternativas a la reconstrucción de ambientes antiguos.

La Cuenca de México

Durante el Pleistoceno, la Ciudad de México se vio afectada por varios eventos que marcaron su geomorfología y geología. Por ejemplo, el intenso volcanismo contribuyó significativamente a la composición sedimentológica de la Cuenca de México. Aunado a esto, los constantes cambios de clima dieron su característica al lecho lacustre (Bryan 1948, Lorenzo 1964, Sears y Clisby 1955, Mooser 1956). Depósitos de arcilla forman la superficie de más de 23% de las áreas menos elevadas de la cuenca.

Debido a su complejidad, su geología era poco conocida hasta 1985. A raíz de los sismos que sacudieron la ciudad, se emprendió un gran esfuerzo por evaluar la información vigente y se iniciaron nuevos proyectos de investigación interdisciplinarios que incluyeron algunos estudios paleolimnológicos e interdisciplinarios (figura 2) (*e.g.*, Cserna *et al.* 1988, Mooser 1990, Mooser y Molina 1993). En la figura 2, se identifican tres localidades de donde se han extraído ostrácodos en los estudios paleontológicos y geológicos de Carreño (1990) y Herrera Hernández (2011), así como los materiales colectados por el autor y el Dr. Luis Morett en el centro del poblado de San Miguel Tocuila, Municipio de Texcoco, Estado de México. Según Carreño (1990), no se tienen las coordenadas precisas para el barreno SPA3, que se ubica en la intersección de Boulevard Aeropuerto y Periférico. El barreno CHA08 de Herrera Hernández (2011) se localiza en las coordenadas 19° 15' 13" N, 98° 58' 39" O en el centro del lago de Chalco; mientras que la exposición muestreada por el autor y Morett se encuentra en las coordenadas 19°31' 14.12" N, 98° 54' 28.63" O.

Presencia en el Valle de México

Pocos son los estudios existentes sobre la fauna de ostrácodos en la cuenca de México. Entre ellos están los de Carreño (1990), para el lago de Texcoco, y Caballero-Miranda y Ortega-Guerrero (1998), para el lago de Chalco (cuadro 1).

El registro micropaleontológico más antiguo y conocido de ostrácodos es el informe de Río de la Loza y Craveri (1858). En él se reportan por primera vez la presencia de fósiles del género *Cypris* en manantiales del Valle de México. Años más tarde, Ehrenberg (1869) asignó el nombre específico de *Cypris mexicana* a los ostrácodos que recolectara de varias localidades cuaternarias de la Ciudad de México.

Los ostrácodos no reciben ninguna atención por el resto del siglo XIX y la primera parte del siglo XX, sino hasta 1936, año en que Díaz-Lozano los reporta en varias de sus excavaciones a través de la Ciudad de México, donde encontró muchas localidades fosilíferas. Habrán de transcurrir cerca de 30 años más antes de que los geólogos y paleontólogos vuelvan a poner sus ojos en estos diminutos crustáceos. La tesis profesional de Flores (1965) es la primera investigación para obtener la licenciatura en biología que se realiza sobre ostrácodos de la cuenca de México.

Cuadro 1. Sinopsis de los estudios paleolimnológicos vigentes que reportan la presencia y/o paleoecología de ostrácodos en la Cuenca de México.

Autor	Año	Publicación	Lista de Especies	Síntesis
Río de la Loza, L. y C. Craveri	1858	Bol. Soc. Mex. Geogr. Estad., 1ª. Epoca, t. 6 (suplemento), pp. 9-28	*Ciprys* sp.	*Ciprys* sp.
Ehrenberg, C.G.	1869	Bol. Soc. Mex. Geogr. Estad., 1ª. Epoca, t. 6 (suplemento), pp. 9-28	*Cypris mexicana*	Asignó el nombre específico *Cypris mexicana* a ostrácodos provenientes de varias localidades cuaternarias de la Ciudad de México.
Díaz-Lozano, E.	1936	Bol. Soc. Mex. Geol. Mex. Vol. 9, No. 5, pp 289-293	No se reportaron especies.	Cita numerosas localidades fosilíferas en sus informes incluyendo la presencia de ostrácodos.
Flores, A.D.	1965	Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, 62 pp.	*Limnocythere* sp. aff. *L. reticulata*, *Limnocythere* sp. cf. *L. sancti-patricii* (*L. staplini*), *Limnocythere* sp. aff. *L. verrucosa*, *Limnocythere* sp. aff. *L. ornata*, *Cytherissa* sp., *Candona* sp. *aff. C. distincta*, *Candona* sp. cf. *C. lactea*, *Candona* sp. cf. *C. elliptica*, *Candona* sp. cf. *C. hipolitensis*, *Candona* sp. cf. *C. ohionensis*, *Candona* sp., *Potamocypris* sp.aff. *P. mazatlanensis*, *Potamocypris* sp., *Cyprinotus* sp. aff. *C. inconstans*, *Cypridopsis sp.* cf. *C. vidua*, *Candona* sp. cf. *C. crogmaniana*, *Cyclocypris* sp. aff. *C. sharpei*, *Darwinula stevensoni*	Primera tesis de licenciatura sobre ostrácodos de la cuenca de México.
Lozano-García, M.S. y Carreño, A.L.	1987	Rev. Soc. Mex. Paleont. 1(1):192-202	*Limnocythere* sp., *Candona* sp., *Chlamydotheca* sp., *Darwinula* sp.	Informe preliminar sobre la presencia de ostrácodos en el ex lago de Texcoco.
Carreño, A.L.	1990	Rev. Soc. Mex. Paleont. Vol. 3, pp. 117-135	*Limnocythere bradburyi*, *Limnocythere itasca*, *Limnocythere sappaensis*, *Candona patzcuaro*, *Candona michoa*, *Candona caudata*, *Cytheromorpha* sp., *Cyprinotus glaucus*, *Physocypria globula*, *Darwinula* sp. cf. *D. stevensoni*	El estudio reporta la presencia de ostrácodos dulceacuícolas y las variaciones climáticas desde la parte final del Illinoiense (glacial), incluyendo el Sangamoniense (interglacial) y la mayor parte del Wisconsiense (glacial). El Holoceno no es parte de la investigación. La diversidad y abundancia son limitadas.
Palacios-Fest, M.R.	2002	CONACULTA-INAH, Mexico, pp. 167-197	*Limnocythere ceriotuberosa*, *Cypria ?* sp., *Herpetocypris* sp., *Herpetocypris brevicaudata*, *Cypridopsis vidua*, *Candona caudata*, *Candona patzcuaro*, *Darwinula stevensoni*, *Eucypris* sp.	Informe preliminar de la presencia de ostrácodos en Tancama, Querétaro; Ticumán Morelos; y Tocuila, Estado de México.

Fuente: elaboración propia.

No es, sin embargo, hasta 1990 que se realiza el primer estudio a gran escala por conocer la historia paleoecológica de la cuenca de México durante el Pleistoceno. Carreño (1990) estudia un barreno de 80 m que revela una larga historia ambiental a través de los ostrácodos. De acuerdo con la autora, la ubicación del barreno, identificado como SPA3, es un tanto incierta por falta de coordenadas geográficas (entronque Aeropuerto y Periférico). Son dos las principales contribuciones de este estudio. La primera es la identificación de una fauna poco diversa y abundante de ostrácodos desde finales del Illinoiense (aproximadamente 130 mil años antes del presente, AP) hasta principios del Holoceno (aproximadamente 10 mil AP). Debido a la alta perturbación de los suelos por lo menos desde tiempos prehispánicos, la mayor parte del Holoceno está perdida o es inútil para estudios paleoecológicos. Lozano-García y Carreño (1987) estiman que la edad total del barreno excede los 200 mil años.

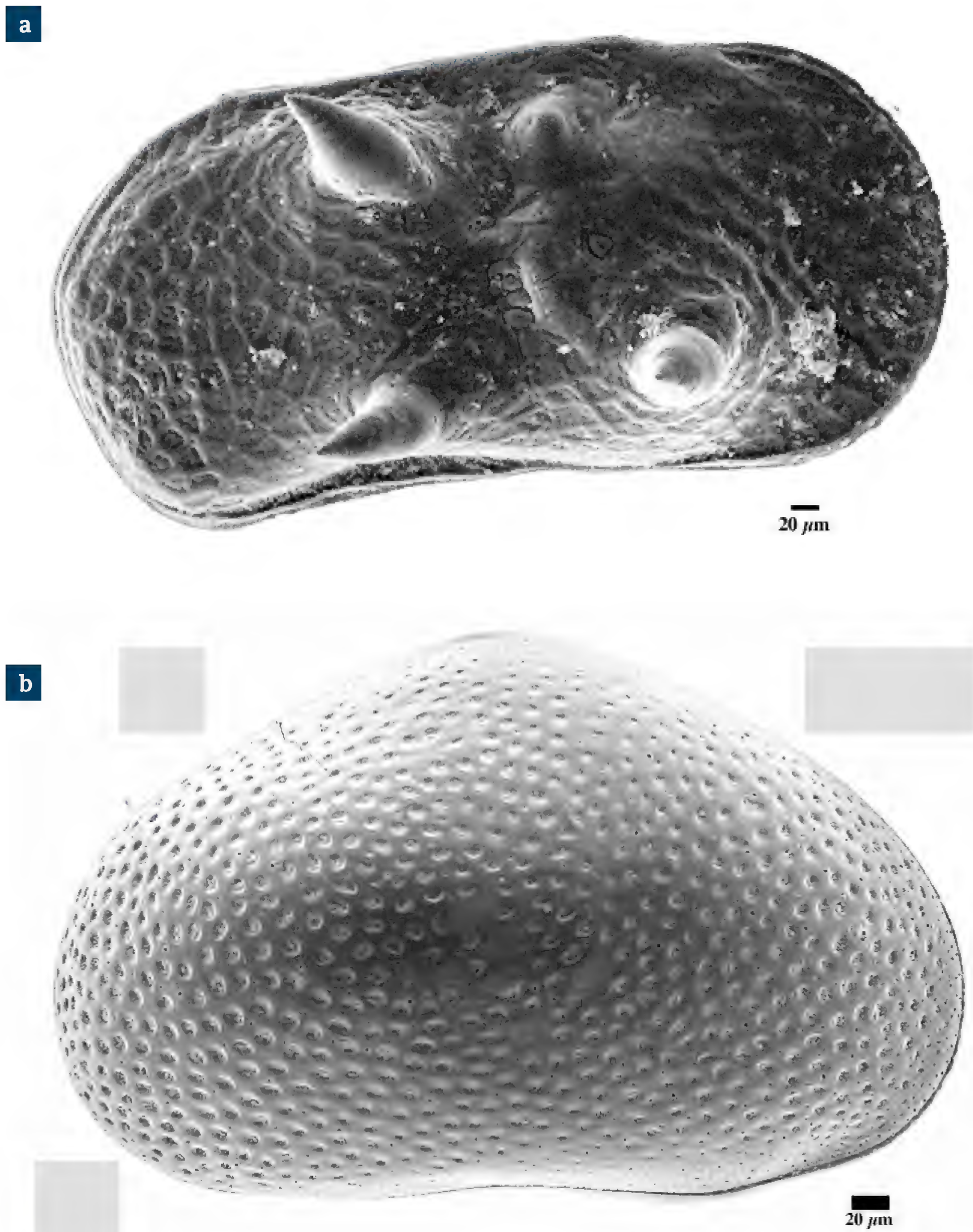


Figura 1. Ostrácodos presentes en la Cuenca de México: a) *Limnocythere itasca* (foto: Diana Juárez Bustos), *b*) *Cypridopsis vidua* presente en la localidad de Tocuila, Estado de México Foto: Manuel R. Palacios-Fest.

La segunda contribución importante de este estudio es el enfoque paleoclimático que la autora ha dado a su investigación. Apoyada en los patrones de abundancia y diversidad de la fauna de ostrácodos, Carreño (1990) proporciona ciclos de alternancia climática que se asocian directamente con los intervalos glaciares e interglaciares de los últimos 200 mil años.

Así entonces, la asociación faunística más antigua (Illinoiense) registrada en el barreno SPA3 está caracterizada por la presencia (dominancia) de especies que prefieren aguas dulces, profundas y frías (*Limnocythere itasca* y *Physocypria globula*); (figura 1*a*). Durante el Sangamoniense (último periodo interglacial: 130 mil-100 mil AP) la asociación faunística cambia como resultado de la alcalinización y salinización del lago. El periodo está dominado por especies que se adaptan mejor a condiciones de creciente salinidad y temperatura (*Limnocythere sappaensis* y *L. bradburyi*). Finalmente, fueron sustituidas por una fauna más diversa y rica que incluye la presencia de estas mismas especies en condiciones de equilibrio ecológico, donde *Candona patzcuaro* y *Candona caudata* coexisten con *Limnocythere itasca*, *L. bradburyi* y *L. sappaensis*, en presencia de *Cytheromorpha* sp., *Darwinula stevensoni* y *Cyprinotus glaucus* durante la mayor parte del Wiscosiniense (100 mil-10 mil AP).

Esta asociación faunística sugiere las condiciones que caracterizan al pleistoceno tardío (última glaciación). La parte superior del barreno indica que el lago de Texcoco estuvo expuesto a variaciones cíclicas (posiblemente estacionales) de temperatura y salinidad, sin que el lago alcanzara la hipersalinización; es decir, sin que los niveles de salinidad del mismo excedieran los límites de tolerancia de las especies presentes.

Hace algunos años, yo mismo reporté al doctor Eduardo Corona del Laboratorio de Zooarqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia, la presencia de abundantes ostrácodos en el poblado de San Miguel Tocuila, municipio de Texcoco (Palacios-Fest 2002). El sitio se caracteriza por la alta concentración de restos de mamut (*Mammuthus columbi*) y otros mamíferos del pleistoceno tardío y el Holoceno temprano (Arroyo Cabrales com. pers. 2000). Se presume que la localidad representa depósitos de aguas someras, posiblemente humedales o pantanos.

La fauna de ostrácodos en las muestras carbonatadas consiste de especies relativamente abundantes: *Candona patzcuaro*, *Candona caudata*, *Limnocythere ceriotuberosa*, *Cypridopsis vidua* (figura 1*b*), *Cypria* sp. y una especie no determinada. La interpretación preliminar sugiere que los sedimentos se acumularon en un lago somero (particularmente *L. ceriotuberosa* y *C. vidua* prefieren aguas someras, además la segunda es nectónica, libre nadadora). El buen estado de preservación de estas valvas indica que se trata de una fauna autóctona, no transportada, que creció en aguas tranquilas. También por su buena preservación es posible usarlas para análisis químicos que permitan estimar las temperaturas de calcificación al momento que se formaron los caparazones (Dettman 2001 y Palacios-Fest 2012, Palacios-Fest) (figura 2).

Conclusión y recomendaciones

La falta de estudios sobre estos microcrustáceos en la región se debe principalmente al origen volcánico de los sedimentos de la cuenca. Estos, de naturaleza silícea representan un obstáculo para la preservación de fósiles calcáreos, como los ostrácodos, ya que la ausencia de carbonatos disueltos en el agua propicia que el sistema absorba el carbonato de las valvas tan pronto como el organismo muere. Es decir, los ostrácodos pueden vivir en sistemas lacustres como los que caracterizan la cuenca de México, pero su depauperación en carbonatos impide su preservación en el registro geológico. Esto no quiere decir que se

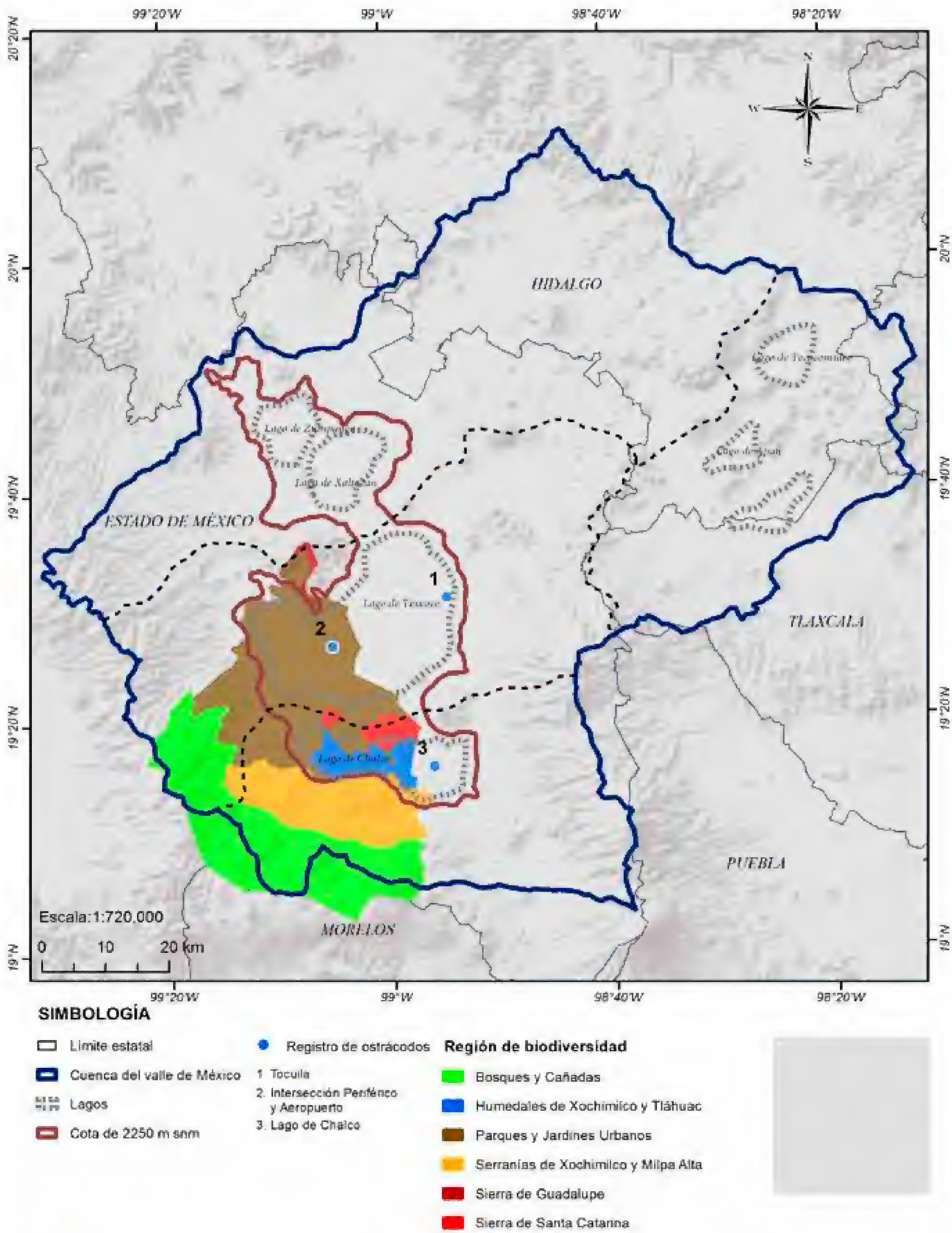


Figura 2. Ubicación de los sitios de estudio de ostrácodos en la Cuenca de México conocidos hasta la fecha. Fuente: elaboración propia con información de Bradbury 1971, Lozano-García y Carreño 1987, Sedov *et al.* 2010 y Herrera Hernandez 2011.

deba renunciar a su búsqueda. La sugerencia natural es invitar a las instituciones de investigaciones geológicas y ambientales de la Ciudad de México y entidades circundantes, parte de la cuenca de México, a realizar estudios limnogeológicos y paleoecológicos integrales que incorporen el análisis de ostrácodos y otros microfósiles.

El muestreo microestratigráfico de los depósitos de lacustres de la cuenca de México permitirá la reconstrucción de alta resolución necesaria para estimar los cambios climáticos a los que ha estado sujeta esta región durante el Pleistoceno tardío y la transición al Holoceno. Las mayores implicaciones paleontológicas y geoarqueológicas que dicho estudio tendrá serán múltiples. Por un lado, se acrecentará el acervo de conocimiento sobre la evolución ambiental de la cuenca de México en los pasados 200 mil años. Información nada despreciable si se considera que el cambio climático actual y el pasado podrían proporcionar a los especialistas una base de datos dura con la cual desarrollar modelos a futuro para el desarrollo de las comunidades que habitan la región. Por otro lado, el conocimiento de los efectos que los cambios ambientales ocurridos en el pasado (especialmente en tiempos del arribo y establecimiento de población humana que explota los recursos de la cuenca ha tenido sobre éstas podrá enseñarnos las alternativas viables de crecimiento en sustentabilidad y equilibrio con el ecosistema.

Referencias

Arroyo-Cabrales, J. 2000. Investigador del Laboratorio de Arqueozoología del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comunicación personal, agosto.

Bradbury, J.P. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco: Evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography*, 16(2):180-200.

Bryan, K. 1948. Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 13:1-20.

Caballero-Miranda, M., B. Ortega-Guerrero. 1998, Lake levels since about 40,000 years ago at Lake Chalco, near México City: *Quaternary Research*, 50(1):69-79.

Carreño, A.L. 1990. Ostrácodos lacustres del paleolago de Texcoco. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología* 3(1):117-129.

Cserna, Z De, M. De la Fuentes-Duch, M. Palacios-Nieto, *et al.* 1988. Estructura geológica, gravimétrica, sismicidad y relaciones neotectónicas de la Cuenca de México. UNAM, Instituto de Geología, Boletín 104:71.

Curry, B. B, 1997. Paleochemistry of Lakes Agassiz and Manitoba based on ostracodes. *Canadian Journal of Earth Sciences* 34(5):699-708.

Delorme, L. D. 1978. Distribution of freshwater ostracodes in Lake Erie. *Journal of the Great Lakes Research* 4(2):216-220.

Díaz-Lozano, E. 1936. Estratigrafía de un yacimiento fosilífero encontrado en la Colonia Alamos, D.F. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 9(5):289-293.

Ehrenberg, C.G. 1869. Uber Mächtige Gebirgs-Schichten Vorherrschend aus Mikroscopischen Bacillarien unter und Beider Stadt Mexiko. Abhadlungen der Königl. *Akademie der Wissenschaften zu Berlin*: 66.

Flores, A.D. 1965. *Estudios preliminares de ostrácodos y sus relaciones edáficas en los ex lagos de Zumpango, Xaltocan, Texcoco, México, Xochimilco y Chalco.* Facultad de Ciencias. Tesis profesional, UNAM: 62 (inédita).

Forester, R.M. 1983. Relationship of two lacustrine ostracode species to solute composition and salinity: Implications for paleohydrochemistry. *Geology* 11:435-438.

——. 1991. Ostracode assemblages from springs in the western United States: implications for paleohydrology. Memoirs of the Entomological Society of Canada, 155:181-201.

Herrera-Hernández, D. 2011. *Estratigrafia y análisis de facies de los sedimentos lacustres del Cuaternario Tardio de la Cuenca de Chalco, México.* Instituto de Geofisica, Tesis de Maestría en Ciencias.

Horne, D.J., A. Cohen y K. Martens. 2002, Taxonomy, morphology and biology of Quaternary and living Ostracoda. In Holmes, J.A., Chivas, A.R. (eds.), *The Ostracoda: Applications in the Quaternary Research*. Washington, D.C., American Geophysical Union, *Geophysical Monograph* 131, 5-36.

Lorenzo, J.L. 1964. *Los glaciares de México*. UNAM, Instituto de Geofísica, Monografía 1:1-32.

Lozano-García, M.S. y A.L. Carreño. 1987. Indicadores micropaleontológicos de condiciones climáticas y lacustres de la Cuenca de México; ex lago de Texcoco. *Revista de la Sociedad Mexicana Paleontológica*, 1(1):192-202.

Mooser, F. 1956. Los ciclos de vulcanismo que formaron la Cuenca de México. México, D.F. Congreso Geológico Internacional, 20, Simposio sobre Vulcanología del Cenozoico, 2:337-348.

——. 1990. Estratigrafía y estructura del Valle de México en el subsuelo de la cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones, a cinco años del sismo, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos*. México, D.F.

Mooser, F. y C. Molina. 1993. Nuevo modelo hidrogeológico para la Cuenca de México. México, D.F.: *Boletín del Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra*, 3(1):68-84.

Palacios-Fest, M.R. 2002. Importancia de los ostrácodos en geoarqueología. En: *Relaciones Hombre-Fauna: una zona interdisciplinaria de estudio*, editado por E. Corona M. y J. Arroyo-Cabrales, CONACULTA-INAH, México, pp. 167-197.

——. 2012. The Early Agricultural and Historic Periods Paleoecological Record at Las Capas Irrigation Canals (Site AZ AA:12:753 [ASM]), Tucson, Arizona. Tucson: *TNESR Report* 10-10, 53 pp.

Palacios-Fest, M.R. y D.L. Dettman. 2001. Temperature controls monthly variation in *ostracode valve* Mg/Ca: *Cypridopsis vidua* from a small dam in Sonora, Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65(15):2499-2507.

Palacios-Fest, M.R., A.S. Cohen y P. Anadón, 1994. Use of ostracodes as paleoenvironmental tools in the interpretation of ancient lacustrine records. *Revista Española de Micropaleontología*, 9(2), 145-164.

Pokorný, V., 1978. *Ostracodes*, en Haq, B.U., Boersma, A. (eds.), Introduction to marine micropaleontology. New York, U.S.A., Elsevier, 109-149.

Río de la Loza, L. y C. Craveri. 1858. Opúsculos sobre los pozos artesianos y las aguas naturales de más uso en la Ciudad de México, con algunas noticias relativas al corte geológico del Valle, y una lista de plantas que vegetan en las inmediaciones del Desierto Viejo. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*, 1ª. Epoca, t. 6 (suplemento): 9-28.

Sears, P.B. y K.H. Clsiby. 1955. Palynology in Southern North America, Part IV: Pleistocene climiate in Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 64:241-254.

Sedov S. S. Lozano-García, E. Solleiro-Rebolledo, *et al.* 2010. Tepexpan revisited: A multiple proxy of local environmental changes in relation to human occupation from a paleolake shore section in Central Mexico. *Geomorphology* 122:309-322.

Peces de agua dulce

Ana Fabiola Guzmán Camacho

Con sólo 19 localidades en todo el país, el registro Pleistocénico de peces dulceacuícolas es relativamente pobre (Guzmán 2015). Esto se debe, en gran parte, a que generalmente los hallazgos de restos de peces son colaterales al estudio de otros grupos más llamativos, como la megafauna (mamuts, perezosos, gliptodontes, etc.), o a estudios más generales, como la paleolimnología (estudio de los ecosistemas antiguos de agua dulce). A pesar de esa escasez, poco más de 40% de esos sitios están concentrados en la cuenca de México, en los antiguos bordes de los lagos de Texcoco y de Chalco (véase Guzmán y Polaco 2009), mismos que indican que, si bien es un área poco documentada, tiene un gran potencial para continuar realizando hallazgos que permitan estudiar las poblaciones del pasado y su ambiente. Dos de los sitios están actualmente en el territorio de la Ciudad de México y los otros seis en el Estado de México (figura 1).

El área lacustre del valle de México comenzó a delimitarse a raíz de la lenta formación de la sierra del Chichinautzin (que inició desde finales del plioceno), que incomunicó y represó el agua de dos ríos que corrían hacia el sur, a lo que actualmente es el estado de Morelos en la cuenca del Balsas. Así se fue conformando la cuenca de México, que es de tipo endorreica (sin salida al mar), con varios valles como el de México, el de Apan y el de Cuautitlán (Mooser 1963). Desafortunadamente, el registro fósil de los peces dulceacuícolas de la ciudad y de la cuenca de México no abarca temporalidades muy antiguas como para documentar si en los tiempos en que existían los ríos, éstos ya estaban poblados por peces. Sin embargo, dado que los peces que habitaban en tiempos históricos la cuenca de México guardan muy poca afinidad zoogeográfica con sus vecinos inmediatos del estado de Morelos, es muy probable que esos ríos no hubiesen favorecido la existencia de una comunidad de peces, o íctica, permanente. Ello también indica que los peces que caracterizaban a la cuenca de México poblaron sus aguas después de la obstrucción de los ríos, pues en la parte colindante del estado de Morelos no existen peces con afinidades a los de la cuenca de México, excepto por el único registro en Cuernavaca (localidad tipo) de *Aztecula sallaei*, de mediados del siglo XIX, que probablemente sea un registro erróneo por lo anómalo de su distribución (obs. pers., E. Díaz Pardo 2011).

De esta forma, la evidencia fósil abarca a partir del momento en que el ambiente lacustre estaba ya bien desarrollado y corresponde a especies que tienen gran afinidad con la fauna de la cuenca del río Lerma en el Estado de México (Álvarez 1949, Miller 2005), lo que supone que hubo una conexión temporal hacia el Lerma, probablemente por la parte noroeste, debido a que ese lado es la parte más baja del parteaguas (línea divisoria del escurrimiento de aguas) entre ambas cuencas.

Los fósiles que se han recuperado hasta ahora indican que durante el Pleistoceno la cuenca de México estuvo habitada por las

Guzmán, A.F. 2016. Peces de agua dulce. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 311-317.

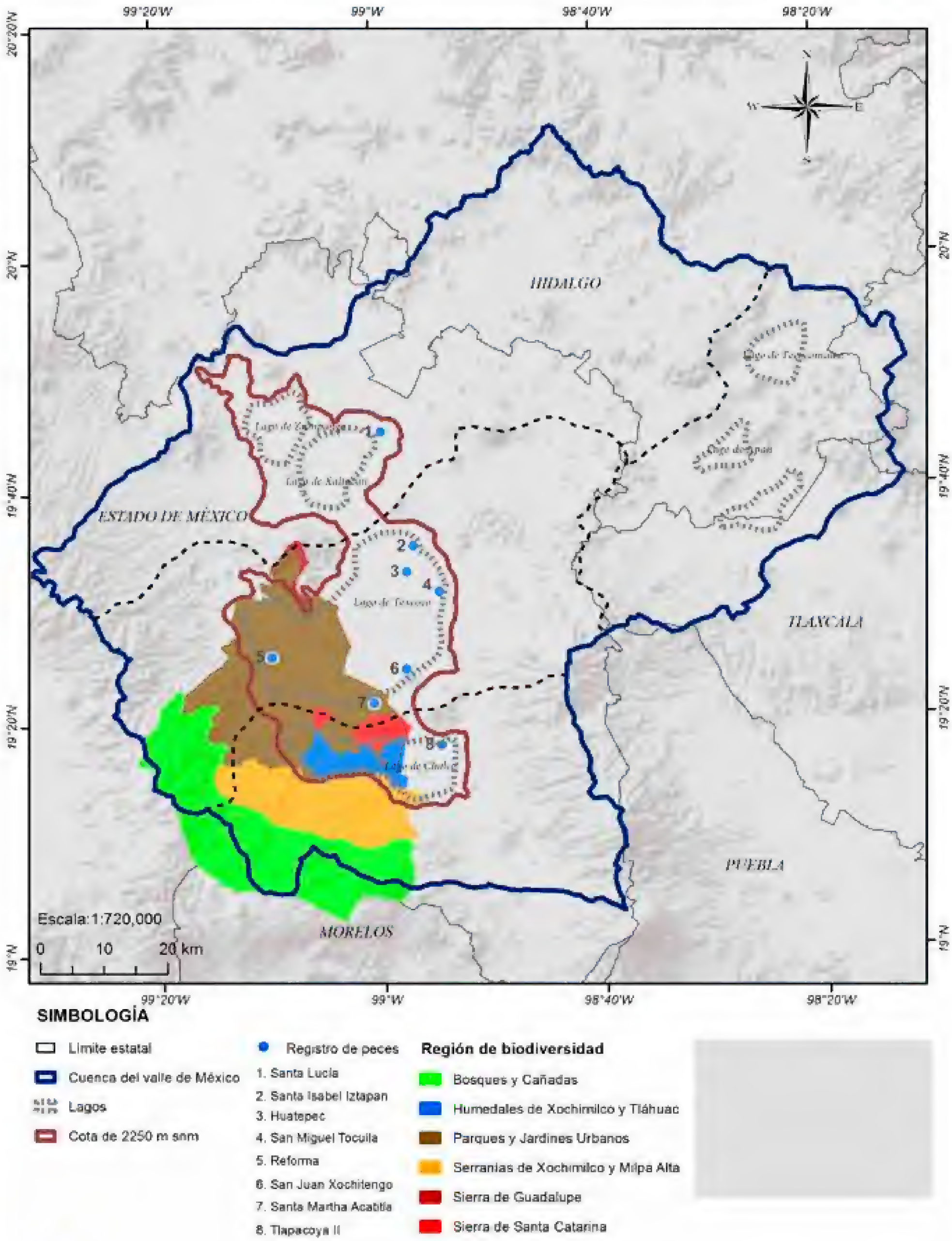


Figura 1. Ubicación de las localidades paleontológicas con restos de peces en la cuenca de México. Fuente: elaborado por Felisa J. Aguilar, modificado de Lorenzo y Mirambell 1986.

mismas familias que se conocen para los tiempos históricos, prácticamente con los mismos géneros y las mismas especies (cuadro 1).

Dos localidades de la Ciudad de México han aportado registros para dos familias de peces. Los restos proceden del sitio Reforma (Bradbury 1971), un pozo de perforación ubicado en la intersección de la avenida Paseo de la Reforma y la calle Havre, en la delegación Cuauhtémoc (Pozo P-366-2), obtenidos

Cuadro 1. Peces con registro fósil y localidades del Cuaternario en la cuenca de México.

	Localidades							
	Ciudad de México		Estado de México					
	5. Reforma	7. Santa Martha Acatitla	1. Santa Lucía	2. Iztapan	3. Huatepec	4. San Miguel Tocuila	6. Chimalhuacán	8. Tlapacoya
Autor (es)	Bradbury (1971)	Valentín Maldonado (1987)	Álvarez y Polaco (1977), Polaco (1980)	Block Iturriaga (1963)	Obs. pers.	Morett Alatorre y Arroyo-Cabrales (2001)	Polaco (1987)	Álvarez y Moncayo (1976), Niederberger Betton (1987)
Taxa [a]								
Familia Cyprinidae								
Algansea tincella			x					x
Algansea sp. nov. [?B]				x				
Algansea sp.		x						
Aztecula sallaei[C]								x
Evarra sp.								x
Cyprinidae indeterminado					x		x[D]	x
Familia Atherinopsidae								
Chirostoma humboldtianum	x							x[E]
Chirostoma jordani								x
Chirostoma sp.								x
Familia Goodeidae								
Girardinichthys viviparus								x
Goodeidae indeterminado								x
Orden, familia, género y especie indeterminados						x		x

[a] La nomenclatura de las especies fue modernizada de acuerdo a Miller (2005), a excepción del uso del género Menidia en lugar de *Chirostoma*, dado que no toda la comunidad ictiológica está de acuerdo con esa propuesta de uso (ver por ejemplo la página de FishBase y del Sistema Integrado de Información Taxonómica, así como a Bloom y colaboradores (2009).
[b] Por su gran tamaño, se ha sugerido que estos materiales puedan representan una nueva especie, la cual todavía requiere de una cuidadosa evaluación.
[c] *Aztecula sallei* reemplaza al nombre originalmente usado en la publicación (*Notropis aztecus*).
d Restos de ciprínidos tentativamente asignados a *Algansea tincella*.
[e] Incluye material originalmente identificado como *Chirostoma regani*, nombre actualmente considerado un sinónimo de *Chirostoma humboldtianum*.
Los números en la localidad corresponden a los empleados en la figura 1.
Fuente: elaboración propia.

durante la construcción de un hotel. Estos restos fueron identificados como al pescado blanco *Chirostoma humboldtianum*, de la familia Atherinopsidae; mientras que en el sitio Santa Martha Acatitla, localizado en la esquina de las calles Lucio Blanco y Francisco Manríquez, en la delegación Iztapalapa, y asociado a restos de mamut y caballo, se encontró un resto del juil *Algansea* sp., de la familia Cyprinidae (Valentín Maldonado 1987).

Las localidades del Estado de México (Block Iturriaga 1963, Álvarez y Moncayo 1976, Álvarez y Polaco 1977, Polaco 1980, Niederberger Betton 1987, Polaco 1987, Morett Alatorre y Arroyo-Cabrales 2001, obs. pers.), además de confirmar la presencia del pescado blanco (figura 2) y del juil (figura 3), aportaron información sobre las otras especies de la cuenca de México, en concreto, del charal (*Chirostoma jordani*, figura 4), del *mexclapique* (*Girardinichthys viviparus*) y de los ciprínidos *Aztecula sallaei* y *Evarra* (nombres vernáculos perdidos).

De manera general, las especies que en tiempos recientes habitaban la cuenca de México son las mismas que se encuentran como fósiles, con la posible excepción de dos casos: en la familia Goodeidae se han registrado restos que son un poco diferentes a los del mexclapique, y en la familia Cyprinidae se conoce que hubo una forma muy grande de juil, no comparable en tamaño al de las formas vivientes, pero que no es un criterio taxonómico suficiente para proponerla como una especie diferente a la viviente y para lo cual se requiere hacer una evaluación de los cambios osteológicos y morfométricos que se presentan en esa especie a diferente talla.

Adicional a los materiales fósiles, existen restos menos antiguos asociados a sitios arqueológicos y que también dan cuenta de la

Figura 2. Pescado blanco, *Chirostoma humboldtianum*. Material de Tlapacoya. Foto: Ana Fabiola Guzmán.

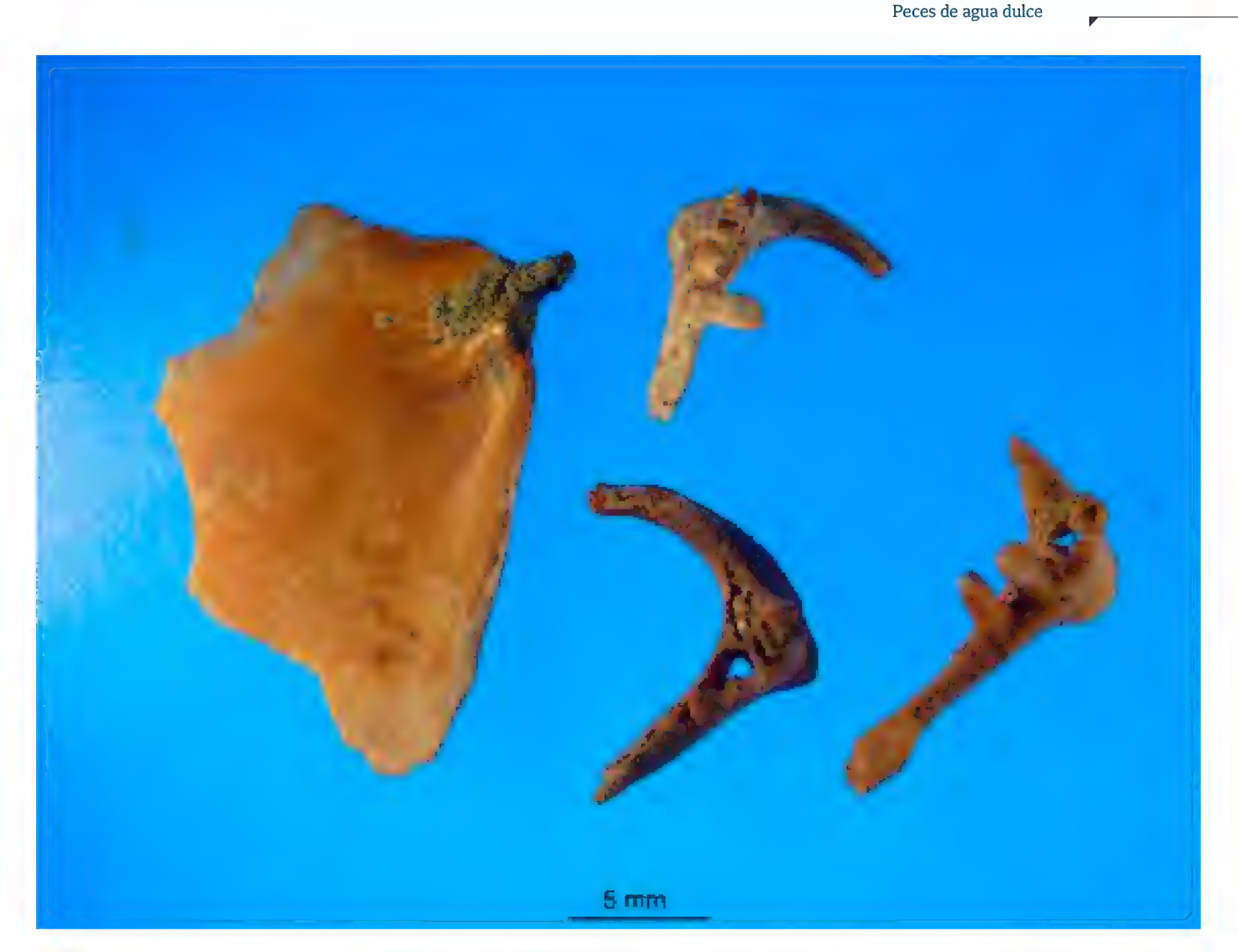


Figura 3. Juil, *Algansea tincella*. Material de Tlapacoya. Foto: Ana Fabiola Guzmán.

Figura 4. Charal, *Chirostoma jordani*. Material de Tlapacoya. Foto: Ana Fabiola Guzmán.

presencia de los peces de las tres familias nativas de la cuenca (Cyprinidae, Atherinopsidae y Goodeidae), además de su uso como alimento por las sociedades prehispánicas y de principios de la época colonial, en localidades tanto de la Ciudad de México (Justo Sierra, en la delegación Cuauhtémoc y en Terremote-Tlaltenco, en la delegación Tláhuac) como del Estado de México (Teotihuacán, Zohapilco y Chalco).

Conclusión

Como fue mencionado al principio, de los pocos sitios conocidos con fósiles de peces de agua dulce en México, varios se localizan en la cuenca de México, a pesar de que no se han realizado excavaciones sistemáticas en la zona. Dada la juventud geológica de la cuenca y de la poca diversidad de peces que había en sus lagos, es poco probable que se incrementen los inventarios del Pleistoceno. Aún queda por resolver, con estudios más profundos de los restos

fósiles y de ejemplares modernos, la dinámica y estructura de las poblaciones que había en esa época, la posibilidad de la existencia de dos especies diferentes a las actuales y de las comunidades asociadas a los ríos que drenaban a la cuenca del Balsas. Para obtener material fósil adicional al ya conocido, además de las excavaciones tradicionales, valdría la pena formalizar, en apego al artículo 28bis de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos (INAH 1972), convenios con las empresas constructoras y otras que realicen excavaciones del subsuelo para obtener muestras de sedimentos que sean analizadas a posteriori.

Referencias

Álvarez, J. 1949. Correlación entre la distribución ictiofaunística y los cambios geomorfológicos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 14: 39-45.

Álvarez, J. y M.E. Moncayo. 1976. Contribución a la paleoictiología de la Cuenca de México. *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia* 7ª época, 6: 191-242.

Álvarez, T. y Ó. Polaco. 1977. Informe Z-304: informe del material procedente de la excavación en Sta. Lucía, Edo. de Méx. Laboratorio de Paleozoología, Departamento de Prehistoria, INAH, México (mecanoescrito).

Block Iturriaga, C. 1963. *Contribución al estudio de los peces fósiles del Valle de México (género Algansea).* Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F.

Bradbury, J.P. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, Mexico. Evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography* 16(2): 180-200.

Bloom, D.D., K.R. Piller, J. Lyons, N. Mercado-Silva y M. Medina-Nava.2009. Systematics and biogeography of the silverside Tribe Menidiini (Teleostomi: Atherinopsidae) based on the mitochondrial ND2 gene. *Copeia* (2): 408-417.

Díaz-Pardo, E. 2011. Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Querétaro. Comunicación personal. Enero.

Guzmán, A. F. 2015. El registro fósil de los peces mexicanos de agua dulce. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(3):661-673.

INAH. Instituto Nacional de Antropología e Historia 1972. Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos. Publicado el 6 de mayo de 1972 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma: 9 de abril de 2012. En: *<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131.pdf>*

Lorenzo, J.L. y L. Mirambell (coords.). 1986. *Tlapacoya: 35 000 años de historia del Lago de Chalco.* INAH, México.

Miller, R.R. 2005. *Freshwater fishes of Mexico.* The University of Chicago Press, Chicago.

Mooser, F. 1963. La cuenca lacustre del Valle de México. pp. 1-48. En: *Mesas redondas sobre problemas del Valle de México.* Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México.

Morett Alatorre, L. y J. Arroyo-Cabrales. 2001. El yacimiento paleontológico de Tocuila. Folleto, Universidad Autónoma de Chapingo, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ayuntamiento de Texcoco y Fundación Cultural, Trabajadores de Pascual y del Arte A. C., Texcoco, Estado de México.

Niederberger Betton, C. 1987. *Paléopaysages et archéologie pré- urbaine du bassin de Mexico,* 2 vols. Centre d'Études Mexicaines et Centroaméricaines (Collection Études Mésoaméricaines). México.

Polaco, O.J. 1980. Informe Z-355: restos óseos de Sta. Lucía, México. Laboratorio de Paleozoología, Departamento de Prehistoria, INAH. México (mecanoescrito).

——. 1987. Informe Z-412: informe de los análisis de la fauna provente de la excavación de Chimalhuacán, Edo. de México. Laboratorio de Paleozoología, Departamento de Prehistoria, INAH. México (mecanoescrito).

Valentín Maldonado, N. 1987. Informe Z-413: identificación de los restos óseos de animales procedentes de Santa Marta Acatitla, México. Laboratorio de Paleozoología, Departamento de Prehistoria, INAH. México (mecanoescrito).

Anfibios y reptiles

Estrella Belén Chávez Galván
Ana Fabiola Guzmán Camacho

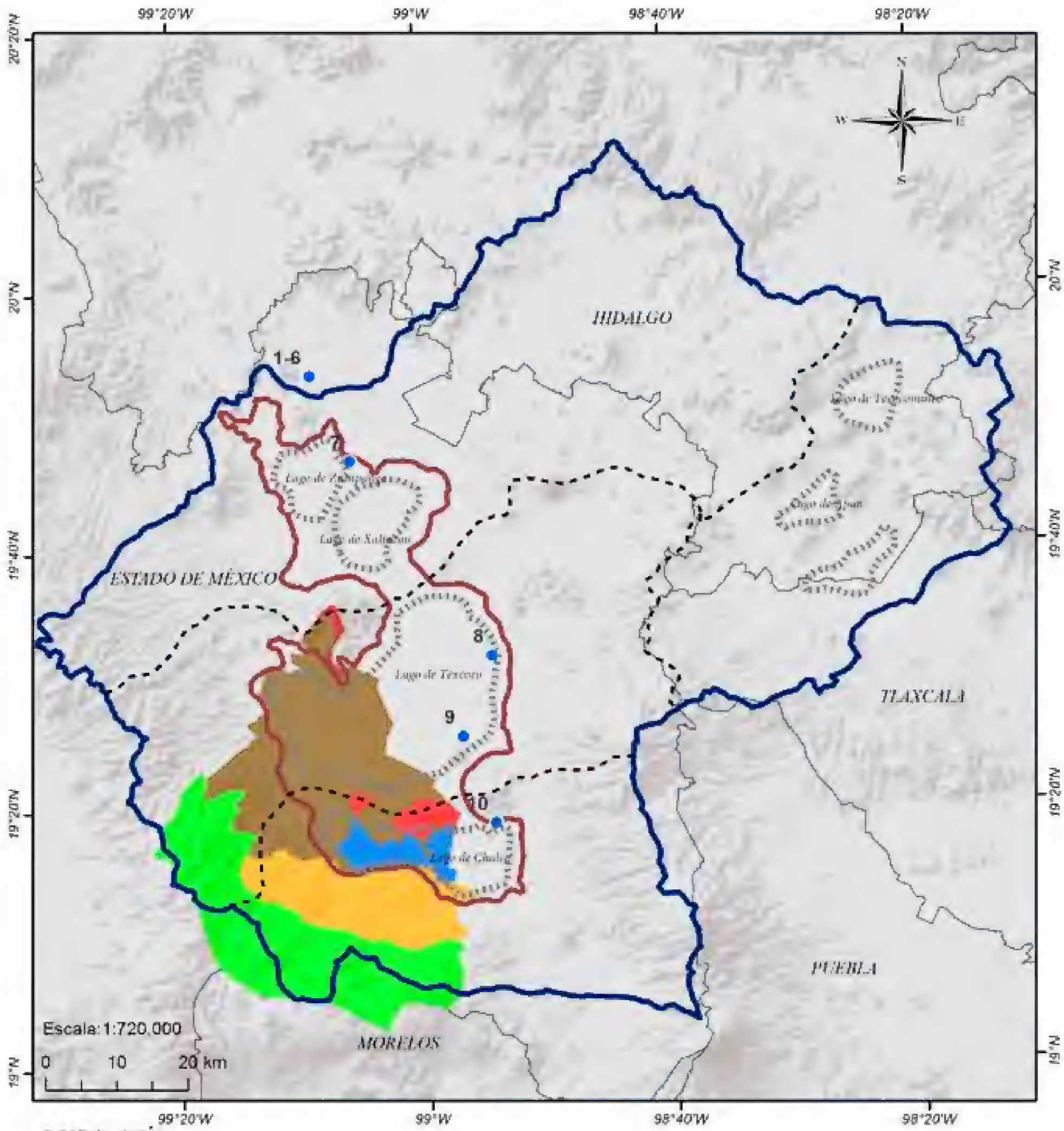
Como en otras partes del mundo, en México los restos fósiles de anfibios (sapos, ranas, salamandras) y reptiles (lagartijas, serpientes, tortugas, cocodrilos) son escasos y fragmentarios. En el caso de los anfibios, se tienen restos de periodos geológicos muy recientes (del Neógeno y del Cuaternario), mientras que para los reptiles se cuenta con restos más antiguos (del Triásico tardío al Holoceno), incluyendo formas marinas (Reynoso 2006). Para el Pleistoceno, Chávez Galván (2008; Chávez Galván *et al.* 2013) documenta en México 47 localidades en las que se han registrado 53 especies de herpetofauna (anfibios y reptiles en conjunto), de las cuales la mayoría corresponden a especies actuales; ya a mediados del siglo XX, Smith (1949) resaltaba la escasez de este tipo de restos y la similitud de la herpetofauna actual con la del registro fósil pleistocénico.

La cuenca de México tenía las condiciones ideales para ser habitada por anfibios y algunas especies de reptiles, ya que estos requieren de la presencia de cuerpos de agua para completar su ciclo reproductivo; en esta área se tienen registrados restos óseos de tres familias de anfibios y cinco de reptiles (cuadro 1) excavados en 10 localidades de edad pleistocénica ubicadas en el Estado de México. Las siguientes localidades se encuentran asociadas a los lagos de Texcoco y Chalco: las Minas del Barrio de San Marcos (Maldonado Koerdell 1947), Chimalhuacán-Atenco (Barrios Rivera 1985, García Cook 1966, 1968), San Miguel Tocuila (Morett *et al.* 1998, Morett Alatorre y Arroyo-Cabrales 2001) y Tlapacoya (Mirambell 1967, Álvarez y Huerta 1974, Álvarez y Ocaña 1999) (figura 1). Las otras seis localidades se encuentran por fuera de la cuenca, aunque en cercanía al lago de Zumpango (Brattsrom 1955, Hibbard 1955, Silva-Bárcenas 1969, Barrios Rivera 1985, Chávez Galván 2008, Chávez Galván *et al.* 2013). En la actualidad dichos lagos sólo son relictos, ya que antiguamente estaban conectados entre sí formando el gran lago de Texcoco y la mayor parte del área que los rodea ahora está cubierta por asentamientos humanos y campos de cultivo.

Entre los restos óseos recuperados destacan las vértebras, los fragmentos de caparazón y los fragmentos de tibio-fíbula (estos últimos son huesos de la pata trasera) y de otros elementos apendiculares (de las patas y de la cola), así como fragmentos del cráneo (por ejemplo mandíbulas). No todos los restos de huesos presentan características que permitan identificar a qué especie pertenecieron, por lo que sólo una pequeña fracción de los restos recuperados ha sido asignada a alguna especie.

Los restos identificados corresponden a especies que actualmente se distribuyen en el área, a excepción del género *Testudo*, recuperado en el Tajo Tequixquiac (Hibbard 1955) y que se encuentra extinto en México (ver listado de Flores-Villela, 1993). Este género tiene representantes modernos con distribución en África, Europa y Asia, y muchos de ellos se encuentran dentro del Apéndice II de la Convención sobre

Chávez-Galván, E.B. y A.F. Guzmán. 2016. Anfibios y reptiles. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 318-323.



SIMBOLOGÍA

- Límite estatal
- Cuenca del valle de México
- Lagos
- Cota de 2250 m snm

- Registro de anfibios
  1. Barranca de Acatlán
  2. Tequixquiac
  3. Valle de Tequixquiac
  4. Barranca del Río Grande
  5. Cantera vieja (Área de localidades Zumpango)
  6. Kilo 61 del Gran Canal
  7. Minas del Barrio de San Marcos
  8. San Miguel Tocuila
  9. San Juan Xochitengo
  10. Tlapacoya II

Región de biodiversidad

- Bosques y Cañadas
- Humedales de Xochimilco y Tláhuac
- Parques y Jardines Urbanos
- Serranías de Xochimilco y Milpa Alta
- Sierra de Guadalupe
- Sierra de Santa Catarina

Figura 1. Ubicación de las localidades paleontológicas con restos de anfibios y reptiles en la cuenca de México. Fuente: elaborado por Felisa J. Aguilar, modificado de Lorenzo y Mirambell 1986.

Cuadro 1. Registro fósil de anfibios y reptiles del valle de México.

	Localidades									
	Estado de México									
	Barranca de Acatlán	Tequixquiac	Valle de Tequixquiac	Barranca del Río Grande	Cantera Vieja	Kilo 61 del Gran Canal	Minas del Barrio de San Marcos	San Miguel Tocuila	Chimalhuacán-Atenco	Tlapacoya II y IV
Autores	Silva-Bárcenas 1969	Silva-Bárcenas 1969	Hibbard 1955, Barrios Rivera 1985	Battstrom 1955	Battstrom 1955; Barrios Rivera 1985	Barrios Rivera 1985; Brattstrom 1955; Silva-Bárcenas 1969	Maldonado-Koerdell 1947	Morett et al.1998; Morett Alatorre y Arroyo-Cabrales 2001	García Cook 1966, 1968; Barrios Rivera 1985	Álvarez y Huerta, 1974; Álvarez y Oacaña, 1999; Mirambell 1967
Taxa										
Familia Bufonidae										
Bufo sp.						x				
Bufonidae gen. et sp. indet.							x			
Familia Ranidae										
Lithobates pipiens										x
Rana sp.					x	x				
Familia Ambystomatidae										
Ambystoma mexicanum										x
Ambystoma tigrinum										x
Ambystoma sp.						x				
Ambystomatidae gen. et sp. indet.							x			
Amphibia		x	x							
Familia Phrynosomatidae										
Sceloporus jarrovii				x						
Sauria gen. et sp. indet.							x			
Familia Colubridae										
Thamnophis eques										x
Thamnophis scalaris										x
Familia Viperidae										
Crotalus scutulatus						x				
Familia Kinosternidae										
Kinosternon sp.								x		x
cf. Kinosternon sp.									x	
Familia Testudinidae										
Testudo sp.			x							
Testudines	x		x							

* Listado taxonómico ordenado con base en Flores-Villela (1993).
Los números en cada localidad corresponden a su identificador en la figura 1.
Fuente: elaboración propia, ordenado de acuerdo a Flores-Villela 1993.

el Tratado Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) desde 1975, debido entre otros factores a la destrucción de su hábitat y al consumo de su carne y conchas con fines medicinales (Türkozan *et al.* 2008).

La presencia de especies como los ajolotes (*Ambystoma*; figura 2), las ranas (*Rana* y *Lithobates*; figura 3), los sapos (*Bufo*) y las tortugas casquito o de pantano (*Kinosternon*; figura 4) reflejan perfectamente el origen lacustre de la cuenca de México. Las otras especies identificadas en el área corresponden a la serpiente de cascabel (*Crotalus scutulatus*), a las culebras (*Thamnophis eques* y *T. scalaris*; figura 5) y a la lagartija espinosa (*Sceloporus jarrovii*), que actualmente se distribuyen ampliamente en el centro del país. Estos restos fueron recuperados de localidades en donde, probablemente, podían encontrarse tanto bosques de pino-encino como matorrales en el Pleistoceno.

Conclusión

El registro fósil de anfibios y reptiles de la cuenca de México es muy escaso, esto se debe en gran parte a que, en general, sus huesos son pequeños y frágiles, lo que impide una fácil conservación. También se debe a que, en las excavaciones paleontológicas, por mucho tiempo se prestó más atención a materiales de gran tamaño, como los huesos de mamuts por ejemplo, lo que mermó en gran medida la recuperación de restos óseos de grupos biológicos más pequeños como los anfibios y reptiles, por lo que la incorporación de técnicas de recuperación más finas (*e. g.* empleando cernidores de haz de malla más pequeño), el mantenimiento e incremento del número de ejemplares de las colecciones de referencia (para poder tener material con el cuál comparar e identificar los restos) y la capacitación de personal especializado para su análisis, darían un impulso al desarrollo de esta disciplina de la zoología.

Figura 2. Húmero y fémur de *Ambystoma*. Material de Tlapacoya. Foto: Ana Fabiola Guzmán.

Figura 3. Tibiofíbula de Ranidae. Material de Tlapacoya. Foto: Ana Fabiola Guzmán.

Figura 4. Fragmento de caparazón de *Kinosternon*. Material de Tlapacoya. Foto: Ana Fabiola Guzmán.

Figura 5. Vértebra de *Thamnophis*. Material de Tlapacoya. Foto: Ana Fabiola Guzmán.

Referencias

Álvarez, T. y P. Huerta. 1974. Restos óseos de anfibios y reptiles en Talapacoya (sic) IV México. *Boletín del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, Época II, México 11:37-42.

Álvarez, T. y A. Ocaña. 1999. *Sinopsis de restos arqueozoológicos de vertebrados terrestres, basada en informes del laboratorio de Paleozoología del Instituto Nacional de Antropología e Historia*. INAH, México, Colección Científica 386.

Barrios-Rivera, H. 1985. *Estudio analítico del registro paleovertebradológico de México*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Brattstrom, B.H. 1955. Records of some Pliocene and Pleistocene reptiles and amphibians from Mexico. *Southern California Academy of Science Bulletin* 54(1): 1-4.

Chávez-Galván, E.B. 2008. *La herpetofauna en el registro fósil y arqueológico del Cuaternario mexicano*. Tesis de licenciatura para obtener el título de Biólogo, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN, México.

Chávez-Galván, B., A. F. Guzmán y O. J. Polaco. 2013. Sinopsis de la herpetofauna en contextos paleontológicos y arqueológicos del Cuaternario en México. Colección INterdisciplinaria, Serie Sumaria, INAH. México.

Flores-Villela, O. 1993. Herpetofauna mexicana: lista anotada de las especies de anfibios y reptiles de México, cambios taxonómicos recientes, y nuevas especies. Carnegie Museum of Natural History, Special Publication 17: 1-73.

García Cook, A. 1966. Excavación de un sitio pleistocénico en Chimalhuacán, Edo. de México. *Boletín del Instituto Nacional de Antropología e Historia* 25: 22-27.

——. 1968. Chimalhuacán: un artefacto asociado a megafauna. Departamento del Instituto Nacional de Antropología e Historia, México, Publicaciones 21.

Hibbard, C.W. 1955. Pleistocene vertebrates from the Upper Becerra (Becerra Superior) Formation, Valley of Tequixquiac, Mexico, with notes on other Pleistocene forms. University of Michigan, Contributions from the Museum of Paleontology 12(5): 47-96.

Lorenzo, J. L. y L. Mirambell (coords.). 1986. Tlapacoya: 35 000 años de historia del Lago de Chalco. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Maldonado-Koerdell, M. 1947. Nota preliminar sobre una fauna subfósil de pequeños vertebrados en un antiguo delta de la región de Zumpango, Méx. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 8(1-4): 243-250.

Mirambell, L. 1967. Excavaciones en un sitio pleistocénico de Tlapacoya, México. *Boletín del Instituto Nacional de Antropología e Historia* 29: 37-41.

Morett Alatorre, L. y J. Arroyo-Cabrales. 2001. *El yacimiento paleontológico de Tocuila*. Folleto, Universidad Autónoma de Chapingo, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ayuntamiento de Texcoco y Fundación Cultural, Trabajadores de Pascual y del Arte A. C., Texcoco, Estado de México.

Morett, A.L., J. Arroyo-Cabrales y O.J. Polaco. 1998. Tocuila, a remarkable mammoth site in the basin of Mexico. *Current Research in the Pleistocene* 15: 119-121.

Reynoso, V.H. 2006. Research on fossil amphibians and reptiles in Mexico, from 1869 to early 2004 (including marine forms but excluding pterosaurs, dinosaurs, and obviously, birds). pp. 209-213, En: *Studies on Mexican paleontology*. F.J. Vega, T.G. Nyborg, M.C. Perrilliat, M. Montellanos-Ballesteros, S.R.S. Cevallos-Ferriz y S.A. Quiroz-Barroso (eds.). Springer, Topics in Geobiology, Dordrecht, The Netherlands, 24:1-308.

Silva-Bárcenas, A. 1969. Localidades de vertebrados fósiles en la República Mexicana. *Paleontología Mexicana* 28: 1-34.

Smith, H.M. 1949. Herpetogeny in Mexico and Guatemala. *Annals the Association of American Geographers* 39(3): 219-238.

Türkozan, O., A. Özdemir y F. Kiremit. 2008. International Testudo trade. *Chelonian Conservation and Biology* 7(2): 269-274.

Aves fósiles

Eduardo Corona Martínez

El conocimiento de las aves fósiles mexicanas es parte de una agenda de investigación que se ha desahogado lentamente, lo que ha provocado que durante mucho tiempo sus resultados se encontraran dispersos y poco sistematizados, además de que existía una ausencia crónica de especialistas y de grupos de investigación. Sin embargo, esto se ha superado en las últimas décadas y hoy se cuenta con un registro de las aves fósiles del Cenozoico tardío, es decir, de los últimos cinco millones de años (Corona-M. 2010).

En esta contribución se presenta una síntesis del paisaje avifaunístico de la cuenca de México en el Pleistoceno, particularmente de su etapa más tardía, es decir, alrededor de los 10 mil años antes del presente (AP), donde se han considerado todas las localidades conocidas (figura 1), que por distintos métodos de datación, directa o indirecta, se ubican en la cronología mencionada (cuadro 1).

En el estudio de los depósitos fósiles, se considera que éstos pueden ser culturales, cuando se presentan signos de presencia humana, y naturales, cuando no existen estos rasgos. Para la identificación se consideró que la mayoría de las aves actuales existían también en el Pleistoceno, por lo que algunas diferencias que se observan en los ejemplares, principalmente de tamaño, son probablemente consecuencia de su respuesta a las modificaciones climáticas; por lo tanto, la identificación de algunos de ellos se considera válida hasta el nivel de género (Corona-M. 2010, cuadro 2).

Paisaje avifaunístico de la cuenca de México

Al integrar los datos de los estudios de Corona-M. (2006, 2010) sobre las aves identificadas en nueve localidades, se encuentran 31 especies de aves, de las cuales 29 se identifican a nivel de especie y dos a nivel de género. Éstas a su vez pueden agruparse en términos ecológicos en 22 especies acuáticas, siete rapaces y dos paseriformes o aves perchadoras o canoras, sólo este último grupo representa más de la mitad del registro avifaunístico mexicano actual.

Las aves acuáticas se pueden subdividir en nadadoras, zambullidoras y vadeadoras. En el primer grupo se encuentran los gansos y patos, como son el ganso canadiense (*Branta canadensis*), la cerceta café (*Anas cyanoptera*, figura 2a), el pato pinto (***A. strepera***), el pato golondrino (*A. acuta*), el pato cabeza roja (*Aythya americana*), el pato boludo (*Aythya affinis*) y el pato piquianillado (*A. collaris*). En el segundo grupo de aves acuáticas se registraron el zambullidor común (*Podylimbus podiceps*), el zambullidor orejudo (*Podiceps nigricollis*), el zambullidor occidental (*Aechmophorus occidentalis*) y el *Podiceps parvus*, una especie extinta; así como la la gavia común (*Gavia* cf. *G. immer*) y el cormorán bicrestado (*Phalacrocorax auritus*). De las acuáticas vadeadoras, se han registrado la garza blanca (*Ardea alba*), la garcita blanca (*Egretta thula*), la gallareta americana (*Fulica americana*), el pelícano blanco (*Pelecanus*

Corona-M., E. 2016. Aves fósiles. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 324-331.

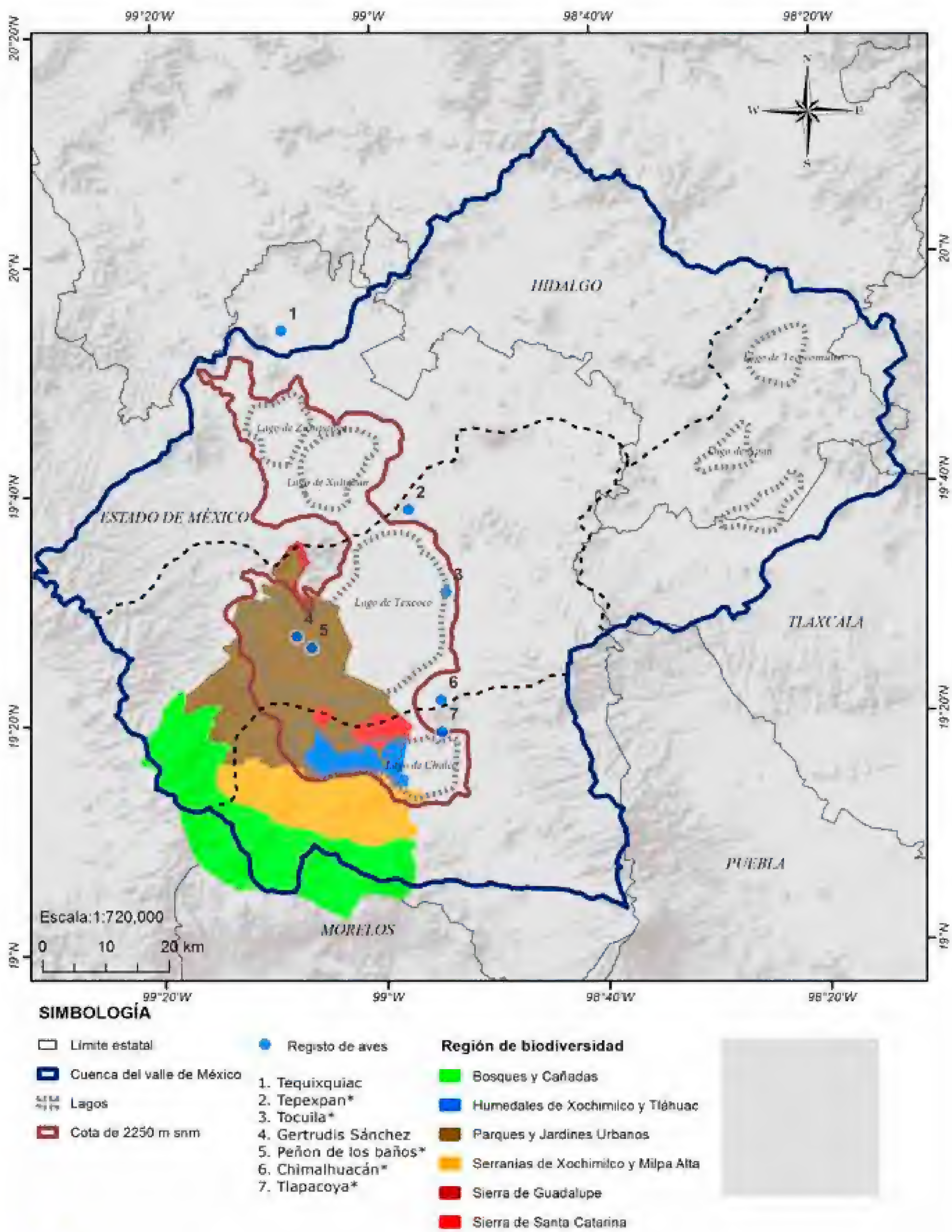


Figura 1. Resumen de las localidades de la Cuenca de México. La localidad de San Juan de Aragón no se indica, por estar muy cercana a la de Gertrudis Sánchez. El asterisco (*) señala localidades con signos de presencia humana. Fuente: Corona-M. 2010. Imagen elaborada por Felisa J. Aguilar.

Cuadro 1. Localidades de la cuenca de México con registro de aves del Pleistoceno tardío. Se muestran las dataciones disponibles absolutas o radiocarbónicas y relativas. (Ntax) Número de taxones registrados por localidad; (nd) no determinado. El asterisco (*) señala localidades con signos de presencia humana.

Localidad	Datación	Ntax
Zumpango	Holoceno temprano	nd
Gertrudis Sánchez	Pleistoceno tardío	1
Peñon de los Baños *	10, 775±75	1
San Juan Aragón	Holoceno temprano	1
Tocuila	11, 188 ± 76	3
Tepexpan *	Pleistoceno tardío	3
Chimalhuacán *	Pleistoceno tardío	6
Tequixquiac	Pleistoceno tardío	13
Tlapacoya *	10, 200±65	21

Fuente: Corona-M. 2010.

erythrorhynchus), la avoceta (*Recurvirostra americana*), la garza nocturna (*Nycticorax nycticorax*), la grulla americana (*Grus canadensis*), el flamenco rosado (*Phoenicopterus ruber*, figura 2*b*) y la cigüeña extinta (*Ciconia* cf. *C. maltha*).

Hay varios hallazgos de aves predadoras diurnas que pueden observarse actualmente, como son el águila real (*Aquila chrysaetos*), extirpada de la cuenca y cuyo rango de distribución actual no sobrepasa el norte del Altiplano de México. Entre los halcones, se ha identificado el pradeño (*Falco mexicanus*), un halcón no identificado (*Falco* sp.) y el caracara (*Caracara cheriway*). Estos taxones se encuentran actualmente en la región, aunque con poblaciones muy disminuidas debido a la presión urbana. Además, aparecen dos águilas extintas: *Spizëatus grinelli* y *Breagyps clarkii*, así como una predadora nocturna de amplia distribución, la lechuza común (*Tyto alba*).

Finalmente, sólo se han encontrado restos de dos paseriformes, el cuervo común (*Corvus corax*), de distribución cosmopolita, y el cuitlacoche (*Toxostoma* cf. *T. ocellatum*), que es un ave residente en el centro de México. Es muy destacable que el grupo de las paseriformes o aves canoras sea el más numeroso y diverso en la actualidad, pero que esté prácticamente ausente en el registro fósil (Corona-M. 2006, 2010). Es probable que ello se deba a un sesgo por la aplicación de técnicas manuales para la recuperación de fósiles, donde los restos, debido a su tamaño reducido, son menos susceptibles de recobrarse.

Por otro lado, también llama la atención la ausencia de dos grupos de aves que comúnmente se consideran parte de los ambientes humanos, principalmente las carroñeras (como los zopilotes) y las galliformes (como los pavos). Estas últimas seguramente constituyeron un recurso de caza asequible y posteriormente se convirtieron en un recurso clave de las sociedades sedentarias de la cuenca, como fue el caso del guajolote (*Meleagris gallopavo*). De esta ave se han identificado restos en las localidades pleistocénicas del norte de México, asociadas al bosque templado, que es su hábitat natural (Corona-M. 2010), y que también se encuentra en las cercanías de los cuerpos de agua de la cuenca; sin embargo, en las tres localidades con mayor diversidad aviar (Tequixquiac, Tlapacoya y Chimalhuacán) no hay restos de esta especie (cuadro 2). Difícilmente se puede argumentar que sus restos no se preservan, pues su alta densidad mineral facilita su conservación (Dirrigil 2001).

Estos datos sugieren que en esta región el guajolote no estaba presente o poseía poblaciones naturales muy reducidas. Incluso si se consideran localidades más tardías como la de

Cuadro 2. Resumen de aves identificadas en localidades de la cuenca de México para el Pleistoceno tardío. El asterisco (*) señala depósitos de tipo cultural, con signos de presencia humana. (1) ave extinta. (2) ave extirpada.

Especie	Chimalhuacán*	Tepexpan*	Tlapacoya*	Peñon de los Baños*	Tocuila	Tequixquiac	San Juan Aragón	Gertrudis Sánchez	Modo de vida
Branta canadensis[1]			x						Acuático
Anas strepera					x				Acuático
Anas cyanoptera					x	x			Acuático
Anas acuta						x			Acuático
Aythia americana						x			Acuático
Aythia collaris						x			Acuático
Aythia affinis	x								Acuático
Gavia cf. *immer*[1]			x						Acuático
Podiceps parvus[2]	x		x						Acuático
Podiceps podiceps		x	x					x	Acuático
Podiceps nigricollis			x						Acuático
Aechmophorus occidentalis	x		x						Acuático
Pelecanus erythrorhynchus			x	x					Acuático
Phalacrocorax auritus[2]		x	x						Acuático
Ardea alba			x						Acuático
Egretta thula			x						Acuático
Nycticorax nycticorax			x						Acuático
Cicionia cf. *maltha*[2]						x			Acuático
Breagyps clarki[2]						x			Predadora
Phoenicopterus ruber 1	x	x			x				Acuático
Aquila chrysaetos[1]						x			Predadora
Spizäetus grinnelli[2]						x			Predadora
Caracara cheriway						x			Predadora
Falco			x						Predadora
Falco mexicanus			x						Predadora
Fulica americana	x								Acuático
Grus canadensis[1]							x		Acuático
Recurvirostra americana	x								Acuático
Tyto alba			x						Predadora
Corvus corax			x						Paseriforme
Toxostoma ocellatum						x			Paseriforme

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Muestra de huesos de aves identificados en localidades de la cuenca de México: a) vista posterior de húmero derecho de cerceta café (*A. cyanoptera*). Localidad Tocuila, Estado de México; b) vista dorsal de escápula izquierda, flamenco rosado (*P. ruber*). Tocuila, Estado de México. Fotos: Eduardo Corona-M.

Zohapilco (Niedeberger 1987), se puede asumir que hasta hace unos 4 500 años AP (ca. 2 500 a. C.) esta ave no se registra, por lo que tal vez no fue un recurso importante para las poblaciones asentadas en el sur de la cuenca, donde la cacería jugaba un papel relevante en la obtención de recursos. Por tanto, cabe considerar como una hipótesis probable que esta ave se haya expandido más tardíamente a través del comercio o del transporte humano, en sociedades consolidadas que ensayaban su domesticación (Corona-M. 2010). Sin embargo, este es un aspecto que deberá ser investigado en el futuro.

Escenarios paleoambientales de la cuenca

Si se considera sólo la diversidad de aves acuáticas y la profundidad del humedal que prefieren para habitar, sea superficial o profundo, se puede establecer una hipótesis sobre los escenarios paleoambientales de los cuerpos de agua de la cuenca de México, los que al parecer están relacionados con los niveles de salinidad. Con base en ello se observan tres grupos, en el grupo I se encuentran las localidades con mayor salinidad y que se asocian claramente al paleolago de Texcoco, como son Chimalhuacán, Tepexpan, Tocuila y Gertrudis Sánchez. En el caso de San Juan de Aragón, aun cuando tiene cercanía con el resto, es preferible reservar su condición dado que sólo tiene un registro aislado de la grulla americana.

Cabe destacar que Tepexpan y Tocuila tuvieron condiciones altas de salinidad, como lo muestra la presencia del flamenco y a la baja diversidad que se registra en estas localidades, condiciones que son muy semejantes a las actuales. En Chimalhuacán también se registra el flamenco, pero la diversidad en este yacimiento

es mayor, por lo que es probable que en el transcurso del tiempo haya sufrido cambios en su composición salina, y por tanto se encuentren representadas, al menos, dos etapas distintas; en una de ellas se generó un ambiente menos restrictivo que permitió la ocupación por parte de otras especies (Corona-M. 2010). Las especies acuáticas que se hallan en estas localidades pueden encontrarse tanto en humedales superficiales como profundos (figura 2).

El grupo II lo forman las localidades dulceacuícolas, donde están Tlapacoya y el Peñón de los Baños. Esta última se caracteriza por encontrarse casi en la parte central del paleolago de Texcoco; sin embargo esta asociación sugiere que sus condiciones ambientales eran menos salinas que las de aquellas ubicadas en las riberas (Corona-M. 2010). Las aves acuáticas que integran a este grupo nos sugieren un ligero predominio de los cuerpos de agua superficiales (figura 2). Las aves terrestres que hay en este grupo son de amplia distribución, tales como halcones (*Falco* sp., *F. mexicanus*), el cuervo (*Corvus corax*) y la lechuza (*Tyto alba*), lo que también sugiere la presencia de espacios abiertos, pero sin que se pueda hacer una caracterización más detallada.

El grupo III se constituye sólo con la localidad de Tequixquiac, localizada al noreste de la cuenca, donde al parecer se encontraba una comunidad muy distinta de las que se observan en la parte oriental, antes descritas, y de hecho, es donde mayor cantidad de aves extintas se registran (figura 3). Sin embargo, no se cuenta con elementos adicionales que permitan explicar esta situación.

En resumen, esta diversidad aviar claramente corresponde con el paisaje propio de los paleolagos de la cuenca de México, los que se pueden diferenciar con base en los niveles de salinidad. Esta idea ha sido respaldada por datos que muestran los cambios en los niveles de los lagos y, en particular, el caso del lago de Chalco, con su transformación de un sistema salino a uno dulceacuícola (Lozano-García *et al.* 1993, Lozano-García y Ortega Guerrero 1998, Metcalfe *et al.* 2000).

Interacciones entre las aves y los primeros pobladores

Se han efectuado diversos análisis para establecer las probables evidencias de un aprovechamiento cultural por parte de los primeros núcleos humanos que ocuparon la cuenca de México en la transición Pleistoceno-Holoceno (Corona-M. 2006, 2010). De forma directa se han buscado trazas de huellas culturales en

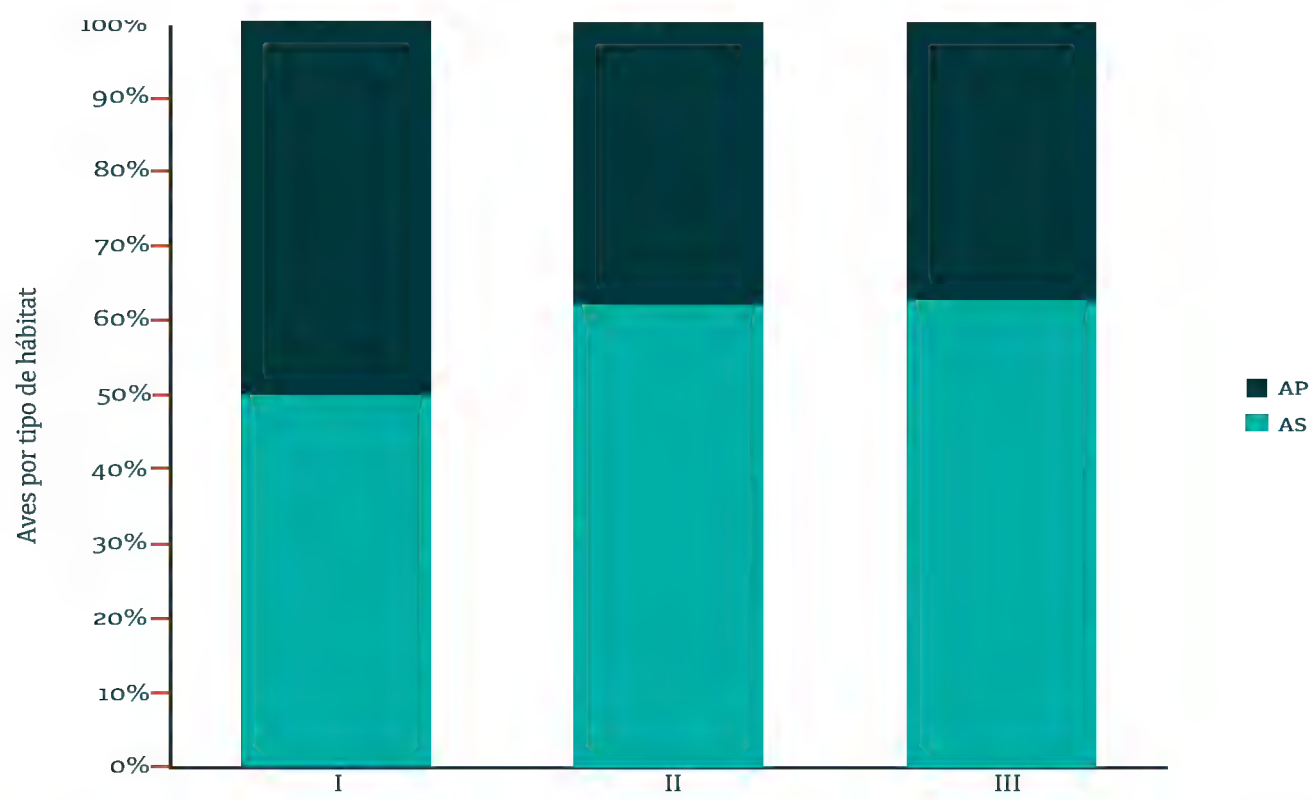


Figura 3. Relación de los grupos de localidades con las aves registradas en aguas superficiales (AS) y aguas profundas (AP). Grupos, I: Chimalhuacán, Tepexpan, Tocuila y Gertrudis Sánchez; II: Tlapacoya y Peñon de los Baños; III: Tequixquiac. Explicación en el texto. Fuente: Corona-M. 2010.

los huesos de aves analizados, sin resultados positivos. Otros análisis parten de la hipótesis inicial de que en los sitios donde hay presencia humana la captura de aves debió ser una actividad importante y que en el éxito de esta actividad influye el factor de la dimensión de la presa, por tanto, en los depósitos culturales deberían predominar aves con mayores dimensiones corporales, sin embargo tampoco se obtuvieron resultados positivos (Corona-M. 2006, 2010).

Con base en las evidencias disponibles, no es posible suponer que el origen de los depósitos con restos de aves tenga relación con actividades humanas; pero tampoco se puede descartar que éstas fuesen un recurso, aunque tal vez fue de uso ocasional, por lo que el impacto de su aprovechamiento no es evidente.

Aves extintas y extirpadas de la cuenca de México

Este aspecto entra en relación directa con la desaparición global o local de varias aves en el periodo de referencia, tan sólo en la cuenca de México. Como hemos señalado antes, si no existen evidencias de un aprovechamiento de las aves por los grupos humanos, más improbable es que éste fuese un factor para la desaparición de estos grupos, por lo que es factible que en estos procesos de extinción no exista un sólo agente responsable (Burney y Flannery 2005), aunque tampoco se ha podido establecer cuáles fueron esos agentes causales.

Para ilustrar lo anterior, en el cuadro 2 se muestran las aves extintas y extirpadas asociadas con el carácter, natural o cultural, del depósito. Es así como se puede observar que Tequixquiac, un depósito natural, es el sitio con más aves extintas tres, mientras que Tlapacoya, un sitio con registro de presencia humana, es donde se encuentran más aves extirpadas tres, seguida de Tepexpan. Por tanto, es posible considerar un escenario de factores combinados, como son: a) los cambios ambientales derivados de las glaciaciones; b) los cambios locales de hábitat, debido a los efectos del vulcanismo que fue muy intenso en la región, y c) en menor medida, la intervención humana.

Como muestra del primer caso, se encuentran aquellas aves relacionadas con ambientes templados, como son el ganso canadiense y el águila real, que se han extirpado de la cuenca y cuyas poblaciones actualmente se encuentran hacia el norte del Altiplano; la primera como migrante invernal y el águila como residente (Howell y Webb 1995). También el flamenco ha visto reducida dramáticamente su área de distribución, pues ahora habita sólo en algunos puntos de la península de Yucatán (Howell y Webb 1995), mientras que el cormorán bicrestado ahora se encuentra como residente en el golfo de California y en la mayor parte de la costa Atlántica (Howell y Webb 1995). Por su parte, la gavia es un elemento vagabundo en el centro de México y es común como migrante invernal en las costas norteñas del país (Howell y Webb 1995). De las aves que se extinguieron totalmente se desconocen los ambientes particulares que ocuparon y los hábitos que tenían, por lo que no es posible establecer con claridad las causas de su extinción, como es el caso del zambullidor, la cigüeña y las águilas.

Conclusión

En los últimos 35 mil años, diversas evidencias paleoclimáticas en la región muestran variaciones importantes en el medio ambiente, que van desde la predominancia del clima frío con humedad variable (desde húmeda hasta seca), que junto con una intensa actividad volcánica entre los 23 mil y 22 mil años, dio como resultado cambios en los niveles de los lagos y, en el caso del lago de Chalco, su transformación de un sistema salino a uno de agua dulce. Estos fenómenos volcánicos se repitieron entre los 14 mil y los 10 mil años, lo que coincide con el fin de un periodo húmedo y frío para dar paso a un clima más seco y

cálido, que se hace más intenso hacia los 5 mil años AP. Es a partir de estas fechas que se hallan las trazas de cambios medioambientales provocados por las poblaciones humanas, debido a las incipientes actividades agrícolas (Lozano-García y Ortega Guerrero 1998, Metcalfe *et al.* 2000, Caballero *et al.* 2010).

Estos datos nos sugieren una transformación intensiva de las condiciones ecológicas por factores naturales, de tal forma que, basados en los fechamientos de los sitios y en los datos expuestos, se puede afirmar que, en un periodo de casi 12 mil años, se extinguieron cuatro taxones y se extirparon seis, al parecer, sin la influencia humana. Dicha transformación se hace evidente en etapas posteriores con el surgimiento de sociedades complejas y jerarquizadas, hasta que se acelera en los últimos 50 años, debido a la expansión de la urbe con el consiguiente deterioro ambiental (Ezcurra 1990).

El desarrollo de nuevos estudios en los sitios de la cuenca de México seguramente permitirá obtener una imagen más completa para documentar los orígenes y los cambios de las aves en esta región. Lo que configura un panorama promisorio para la investigación paleobiológica.

Referencias

Burney, D.A. y T.F. Flannery. 2005. Fifty millennia of catastrophic extinctions after human contact. *Trends in Ecology and Evolution* 20(7): 395-401.

Caballero, M., S. Lozano-García, L. Vázquez-Selem y B. Ortega. 2010. Evidencias de cambioclimático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del dentro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 62(3): 359-377.

Corona-M., E. 2006. Las aves de la Cuenca de México en el Pleistoceno Tardío. pp. 33-44. En: 2° Simposio Internacional el Hombre Temprano en América J. C. Jiménez López, O.J. Polaco, G. Martínez Sosa y R. Hernández Flores (eds.). Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México.

——. 2010. *Las aves del Cenozoico tardío de México. Un análisis paleobiológico.* Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

Dirrigil Jr., F.J. 2001. Bone mineral density of wild turkey (*Meleagris gallopavo*) skeletal elements and its differential survivorship. *Journal of Archaeological Science* 28: 817-832.

Ezcurra, E. 1990. *De las chinampas a la megalópolis.* El medio ambiente en la Cuenca de México. Serie la Ciencia desde México. SEP/FCE/CONACYT.

Howell, S.N.G. y S. Webb. 1995. *A guide to the birds of Mexico and Central America.* Oxford University Press, New York.

Lozano-García, M.S. y B. Ortega Guerrero. 1998. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico; correlation between Texcoco and Chalco basins. *Review of Paleobotany and Palinology* 99: 77-93.

Lozano-García, M.S., B. Ortega-Guerrero, M. Caballero y J. Urrutia-Fucugauchi. 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco lake. *Quaternary Research* 40: 332-342.

Metcalfe, S.E., S.L. O'Hara, M. Caballero y S.J. Davies. 2000. Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in México—a review. *Quaternary Science Reviews* 19: 699-721.

Niedeberger, C. 1987. *Paléopaysages et archéologie pré- urbaine du bassin de Mexico,* 2 vols. Centre d'Études Mexicaines et Centroaméricaines (Collection Études Mésoaméricaines). México.

Mamíferos

Joaquín Arroyo Cabrales

En México, los primeros restos fósiles de vertebrados pleistocénicos, principalmente correspondientes a mamíferos, fueron documentados hace más de 400 años por misioneros que llegaron al país junto con los conquistadores (Corona-M. *et al.* 2008). Entre los descubrimientos notables, debido al tamaño de los huesos, estuvieron los mamuts, que primero fueron señalados como "gigantes" y, posteriormente, como "elefantes" (Arroyo-Cabrales *et al.* 2003); (figura 1). Otros animales reportados fueron los camellos y los bisontes, así como animales marinos que se pensaba estuvieran relacionados con las "sirenas", pero en que realidad eran restos de manatíes (Aranda-Manteca 2002).

Los registros de mamíferos pleistocénicos en la cuenca de México son muy abundantes. Se cuenta con 55 localidades conocidas, 42 en la Ciudad de México y 13 en el Estado de México (cuadro 1); en su mayoría son registros de elementos aislados hallados durante obras de construcción, así como procedentes de excavaciones de salvamento. Sin embargo, algunas localidades han sido excavadas de manera sistemática con los controles estratigráfico y radiométrico requeridos, como son el sitio arqueológico de Tlapacoya y la localidad paleontológica de San Miguel Tocuila en el Estado de México (Arroyo-Cabrales *et al.* 2004, Lorenzo y Mirambell 1986). De hecho, las excavaciones arqueológicas dentro de la cuenca de México han posibilitado que sea en esta área donde existe el mayor número de fechamientos absolutos por radiocarbono de todo el país, con 17 de los 25 sitios conocidos para el Pleistoceno tardío, con un intervalo que va de 33 400 a 11 000 años antes del presente (AP), incluyendo algunos sitios con fechas dentro del holoceno (Arroyo-Cabrales *et al.* 2009).

La fauna conocida del Pleistoceno en la Ciudad de México estuvo compuesta por al menos seis órdenes de mamíferos, incluyendo a los primates, por la presencia de restos de humanos de más de 12 mil años en el Peñón de los Baños (González *et al.* 2003). Los otros órdenes registrados son Xenarthra (Cingulata [armadillo, gliptodonte] y Pilosa [perezoso terrestre, etc.], figura 2), Proboscidea (mamuts, mastodontes, etc.), Carnivora (felinos, osos, etc.), Perissodactyla (caballos, tapir) y Artiodactyla (camellos, venados, berrendos, bisontes, etc.). Sin embargo, si se amplía el área superficial considerada a lo que corresponde la cuenca de México, lo que realmente tiene mayor sentido desde el punto de vista biológico, entonces existieron nueve órdenes, 31 familias (12 de ellas presentes en la Ciudad de México, figura 3) y 77 especies, de las cuales 39 están extintas, 14 extirpadas del territorio mexicano y 24 se registran actualmente, lo que significa que alrededor de 69% de especies que ocuparon el territorio de la cuenca de México ya no se hallan actualmente en el área (figura 4, cuadro 2). Las 77 especies registradas representan 27.5% del total de especies pleistocénicas conocidas para México (280 especies, Ferrusquía-Villafranca *et al.* 2010). Asimismo, no se registran los

Arroyo-Cabrales, J. 2016. Mamíferos. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México,* vol. I. CONABIO/SEDEMA, México, pp. 332-340.

Cuadro 1. Lista de las localidades donde se han registrado las especies de mamíferos pleistocénicos de la cuenca de México, separadas por región política: Ciudad de México y Estado de México (cuenca de México). Se proporciona la región dentro de la Ciudad de México a la que se asigna la localidad.

Localidad en Ciudad de México	Regionalización
Atzacoalco	Parques y Jardines
Barranca de Regla	
Barranca del Muerto	Parques y Jardines
Batán	Parques y Jardines
Calzada de Tlapan	
Calzada Sta. Ana 1000	Humedales
Cerro de las Palmas	Parques y Jardines
Cerro del Tepeyac	Parques y Jardines
Ciudad de los Deportes	Parques y Jardines
Colonia Estrella	Parques y Jardines
Colonia Gertrudis Sánchez	Parques y Jardines
Colonia Los Alamos	Parques y Jardines
Colonia Los Cuartos	Parques y Jardines
Colonia Vallejo	Parques y Jardines
Convento de San Diego	Parques y Jardines
Chapultepec	Parques y Jardines
Edificio Latino Americano	Parques y Jardines
Ejército de Oriente	Parques y Jardines
Estación Tacubaya, línea 9 del metro	Parques y Jardines
Estación Tezozomoc	Parques y Jardines
Inguaran línea 4 norte, Delegación Venustiano Carranza	Parques y Jardines
Ixtapalapa	Parques y Jardines
Ladrillera La Moderna	Parques y Jardines
Línea 6 del Sistema de Transporte Colectivo metro, entre la Delegación Azcapotzalco y Gustavo A. Madero	Parques y Jardines
Panteón Dolores	Parques y Jardines
Pedregal de San Angel	Bosques y Cañadas
Peñón de los Baños	Santa Catarina
Peñon Viejo	Santa Catarina
Plaza de Toros	Parques y Jardines
STC Metro Km 2 (Chapultepec)	Parques y Jardines
San Jerónimo	Bosques y Cañadas
San Jerónimo Lídice	Bosques y Cañadas
San Jerónimo y El Beltrán	Bosques y Cañadas
Santa Fé	Bosques y Cañadas
Santa Martha Acatitla	Parques y Jardines
Santa Martha Acatitla Sur	Parques y Jardines
Tacubaya	Bosques y Cañadas
Teatro Latino (Paseo de la Reforma)	Bosques y Cañadas
Ticomán	Bosques y Cañadas
Tláhuac	Humedales
Torre Latinoamericana	Parques y Jardines
Villa de Guadalupe	Parques y Jardines
Localidad en Estado de México	
Apaxco	
Chimalhuacan-Atenco	
Los Reyes La Paz	
San Bartolo Atepehuacán	
San Vicente Chicoloapan	
Santa Isabel Iztapan	
Santa Lucía	
Tepexpan	
Tequesquinahua	
Tequixquiac	
Tlapacoya	
Tocuila	
Zumpango	

Fuente: Arroyo-Cabrales *et al.* 2005.

órdenes Perissodactyla, Proboscidea y Xenarthra, y solamente 14 especies reconocidas en el registro pleistocénico viven actualmente en la región. Diversos autores (Chávez *et al.* 2009, Hortelano-Moncada *et al.* 2009, Navarro Frías *et al.* 2007, entre otros) mencionan que con base en los registros, desde la llegada de los españoles hace poco más de 500 años, se conocen para la cuenca de México ocho órdenes, 18 familias y 61 especies de las que 47.5% corresponden a los murciélagos (29 especies) y 34.4% a los roedores (21 especies); las 61 especies representan 12.8% del total actual de especies de mamíferos mexicanos terrestres (478 especies, Ceballos y Oliva 2005).

Dentro de los órdenes pleistocénicos están incluidas especies de gran tamaño, que pesaban más de 100 kg y muchas de las cuales ahora están extintas (Ceballos *et al.* 2010). Entre esa fauna se encontraba un conjunto de

Cuadro 2. Listado de las especies pleistocénicas que se han registrado en la Ciudad de México y el Estado de México (EDO MEX).

Orden	Familia	Taxón válido	CDMX	EDO. MEX	EA
Artiodactyla	Antilocapridae	?*Antilocapra americana*		X	
Artiodactyla	Antilocapridae	*Capromeryx mexicana**		X	
Artiodactyla	Antilocapridae	*Stockoceros conklingi**		X	
Artiodactyla	Antilocapridae	*Tetrameryx* sp.*		X	
Artiodactyla	Bovidae	*Bison alaskensis**		X	
Artiodactyla	Bovidae	*Bison antiquus**		X	
Artiodactyla	Bovidae	?*Bison bison*	X		
Artiodactyla	Bovidae	*Bison latifrons**		X	
Artiodactyla	Bovidae	*Bison priscus**		X	
Artiodactyla	Bovidae	*Euceratherium collinum**		X	
Artiodactyla	Camelidae	*Camelops hesternus**		X	
Artiodactyla	Camelidae	*Camelops mexicanus**	X	X	
Artiodactyla	Camelidae	*Eschatius conidens**		X	
Artiodactyla	Camelidae	*Hemiauchenia macrocephala**	X	X	
Artiodactyla	Cervidae	?*Cervus* sp.	X	X	
Artiodactyla	Cervidae	?*Mazama americana*		X	
Artiodactyla	Cervidae	*Odocoileus halli**		X	
Artiodactyla	Cervidae	*Odocoileus* sp.	X	X	X
Artiodactyla	Tayassuidae	*Platygonus compressus**	X	X	
Carnivora	Canidae	*Canis dirus**		X	
Carnivora	Canidae	*Canis latrans*		X	X
Carnivora	Canidae	?*Canis lupus*		X	
Carnivora	Canidae	?*Canis rufus*		X	
Carnivora	Canidae	*Canis* sp.	X		X
Carnivora	Canidae	*Urocyon* sp.		X	X
Carnivora	Felidae	*Lynx rufus*		X	X
Carnivora	Felidae	*Panthera atrox**		X	
Carnivora	Felidae	*Smilodon fatalis**		X	
Carnivora	Mustelidae	*Mephitis macroura*		X	X
Carnivora	Mustelidae	?*Lontra longicaudis*		X	
Carnivora	Mustelidae	*Mustela frenata*		X	X
Carnivora	Mustelidae	*Taxidea taxus*		X	X
Carnivora	Procyonidae	*Procyon lotor*		X	X
Carnivora	Ursidae	*Arctodus simus**	X	X	
Carnivora	Ursidae	?*Ursus americanus*		X	
Chiroptera	Mormoopidae	*Mormoops megalophylla*		X	X
Chiroptera	Phyllostomidae	*Desmodus stocki**		X	
Lagomorpha	Leporidae	*Sylvilagus cunicularius*		X	X
Lagomorpha	Leporidae	*Sylvilagus floridanus*		X	X
Perissodactyla	Equidae	*Equus conversidens**	X	X	
Perissodactyla	Equidae	*Equus mexicanus**		X	

Cuadro 2. Continuación.

Orden	Familia	Taxón válido	CDMX	EDO. MEX	EA
Perissodactyla	Equidae	*Equus tau**	X	X	
Perissodactyla	Rhinocerontidae	*Rhinocerontidae**		X	
Perissodactyla	Tapiridae	*?Tapirus sp.*		X	
Primates	Hominidae	*Homo sapiens*	X	X	X
Proboscidea	Elephantidae	*Mammuthus columbi**	X	X	
Proboscidea	Gomphotheriidae	*Cuvieronius tropicus**		X	
Proboscidea	Mammutidae	*Mammut americanum**		X	
Rodentia	Erethizontidae	*?Erethizon dorsatum*		X	
Rodentia	Geomyidae	*?Cratogeomys castanops*		X	
Rodentia	Geomyidae	*Cratogeomys merriami*		X	X
Rodentia	Geomyidae	*Cratogeomys tylorhinus*		X	X
Rodentia	Geomyidae	*Thomomys umbrinus*		X	X
Rodentia	Heteromyidae	*Dipodomys* sp.		X	X
Rodentia	Heteromyidae	*Liomys irroratus*		X	X
Rodentia	Hydrochoeridae	*Neochoerus aesopi**		X	
Rodentia	Muridae	*Baiomys intermedius**		X	
Rodentia	Muridae	*Hodomys alleni*		X	X
Rodentia	Muridae	*?Microtus californicus*		X	
Rodentia	Muridae	*Microtus meadensis**		X	
Rodentia	Muridae	*Microtus mexicanus*		X	X
Rodentia	Muridae	*?Neotoma albigula*		X	
Rodentia	Muridae	*Neotoma anomala**		X	
Rodentia	Muridae	*Neotoma magnodonta**		X	
Rodentia	Muridae	*Neotoma mexicana*		X	X
Rodentia	Muridae	*Neotoma tlapacoyana**		X	
Rodentia	Muridae	*Neotomodon alstoni*		X	X
Rodentia	Muridae	*Peromyscus maldonadoi**		X	
Rodentia	Muridae	*Peromyscus maniculatus*		X	X
Rodentia	Muridae	*Sigmodon* sp.		X	X
Rodentia	Sciuridae	*?Cynomys ludovicianus*		X	
Xenarthra	Dasypodidae	*Holmesina septentrionalis**		X	
Xenarthra	Chlamyphoridae	*Glyptotherium mexicanum**	X	X	
Xenarthra	Megalonychidae	*Megalonyx* sp.*		X	
Xenarthra	Megatheriidae	*Eremotherium laurillardi**	X	X	
Xenarthra	Megatheriidae	*Nothrotheriops shastensis**		X	
Xenarthra	Mylodontidae	*Glossotherium harlani**	X	X	

Fuente: elaboración propia.
El listado de especies actuales (EA) se basa en lo mencionado por Chávez *et al.* (2009), Hortelano-Moncada *et al.* (2009) y Navarro Frías *et al.* (2007). Las especies extintas están señaladas con un asterisco (*), aquellas extirpadas de la región con un símbolo de interrogación (?).

Figura 1. Cráneos del mamut de las praderas *Mammuthus columbi* procedentes del sitio arqueológico de Tocuila, Estado de México. Foto: Luis Morett Alatorre.

Figura 2. Garra de perezoso gigante. Foto: Jordi Mestre, IPHES.

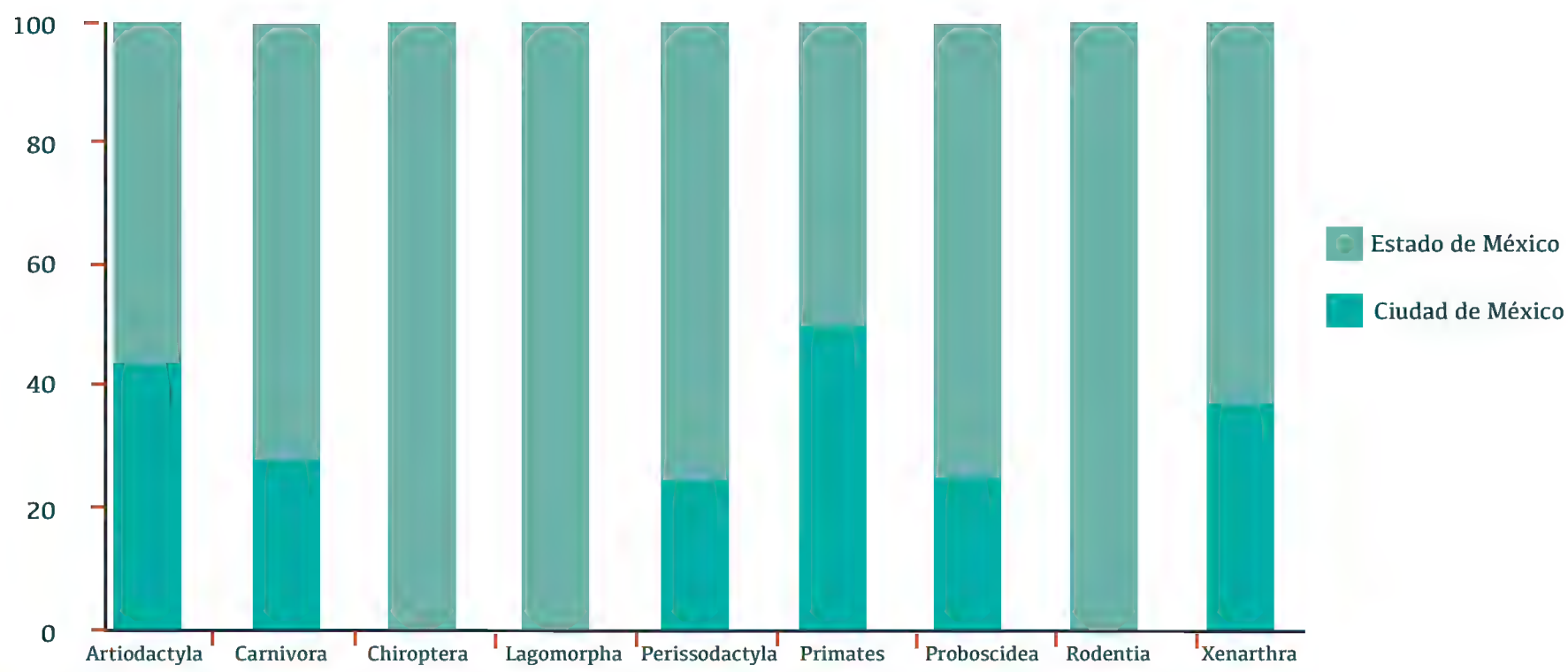


Figura 3. Registro fósil de mamíferos de la Ciudad de México y del Estado de México. Fuente: Arroyo Cabrales *et al.* 2005.

animales herbívoros, típicos de los pastizales y las sabanas que ocupaban la mayor parte de la actual Altiplanicie Mexicana y llegaban hasta el Faja Volcánica Transmexicana (Ferrusquía-Villafranca *et al.* 2010), incluyendo manadas de bisontes (*Bison* sp.), camellos (*Camelops* sp.), caballos (*Equus* sp.), gliptodontes (*Glyptotherium* sp.), los diversos berrendos que son exclusivos de Norteamérica (*Antilocapra americana*, *Capromeryx* sp., *Tetrameryx* sp., *Stockoceros* sp.), las llamas (*Hemiauchenia macrocephala*), pero sobre todo los más característicos de las planicies pleistocénicas, los mamuts (*Mammuthus columbi*). Los depredadores también estaban presentes y, en relación con el gran tamaño de las presas, eran enormes; algunos registros fueron los leones americanos (*Panthera atrox*), los tigres dientes de sable (*Smilodon fatalis*), los lobos pleistocénicos (*Canis dirus*, al menos una vez y media mayores que sus parientes actuales) y los osos de rostro corto (*Arctodus simus*) (Johnson *et al.* 2006). Aunque se sabe menos de los animales medianos o pequeños (debido, entre otras razones, a un sesgo tanto de la metodología como de los investigadores al recuperar sólo los restos de animales grandes, aunque en los últimos 30 años esto ha sido superado), cabe mencionar que también se tienen registros de zorras (*Urocyon* sp.), mapaches (*Procyon lotor*), zorrillos (*Mephitis macroura*), conejos (*Sylvilagus cunicularius*, *S. floridanus*), tuzas (*Cratogeomys* spp., *Thomomys umbrinus*), metoritos (*Microtus* spp.), ratas (*Hodomys alleni*, *Neotoma* spp., *Sigmodon* sp.) y ratones silvestres (*Peromyscus* spp.), entre otros. Además, en las montañas que rodeaban la cuenca de México, se hallaban los mastodontes (*Mammut americanum*), los gonfoterios (*Cuvieronius* sp.), los perezosos terrestres (*Eremotherium laurillardi*, *Glossotherium harlani*, *Nothrotheriops shastensis*), los borregos cimarrones (*Euceratherium collinum*), así como los carnívoros correspondientes, como el oso negro (*Ursus americanus*).

Muchos de los animales antes mencionados ya no se hallan en la región ni co-ocurren con ciertas especies, lo cual indica que existieron condiciones climáticas y ambientales diferentes durante el Pleistoceno tardío de las que imperan en el presente. El ecosistema dominante de pastizal dentro de la región proporcionó el panorama que encontraron los primeros pobladores y en el que se desarrollaron a finales del Pleistoceno.

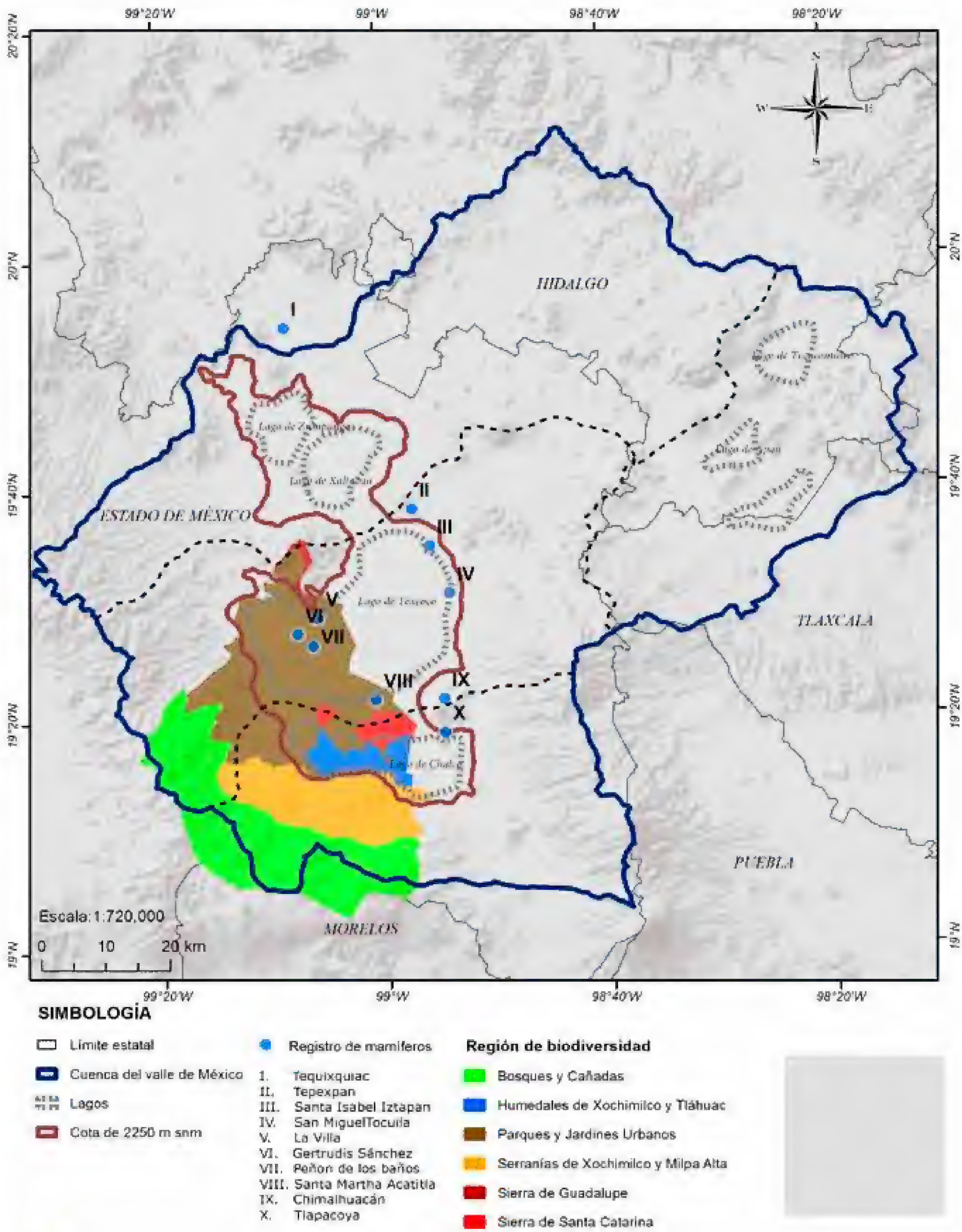


Figura 4. Mapa de la cuenca de México. Para la Ciudad de México, se señala el número de localidades conocidas por cada una de las regiones propuestas en el estudio. En números romanos, se señalan las localidades con mayor diversidad de mamíferos fósiles en la cuenca de México ordenadas de norte a sur. Fuente: Arroyo Cabrales *et al.* 2005, elaborada por Felisa J. Aguilar.

Conclusiones

La mastofauna pleistocénica de la cuenca de México fue diversa, con un registro de 77 especies. Actualmente, dentro de los tiempos históricos, se redujo a 61 especies, que representan alrededor de un octavo del total de mamíferos terrestres mexicanos actuales; mientras que en el pasado la diversidad señalada correspondía a un cuarto de las especies reconocidas para el país. Es claro que la cuenca de México ha perdido una parte importante de su biodiversidad, lo que sin lugar a dudas se explica por los impactos directo e indirecto de los seres humanos en la región.

Referencias

Aranda-Manteca, F.J. 2002. Los mamíferos fósiles de México. pp. 181-189. En: *Fósiles de México: Coahuila, una ventana a través del tiempo*. A. H. González González y A. de Stefáno Farías (eds.). Gobierno del estado de Coahuila. Coahuila, México.

Arroyo-Cabrales, J., L. Morett A. y O.J. Polaco. 2004. 16. Tocuila and its Research/Public Outreach Program. pp. 153-158. En: *The Future from the Past. Archaeozoology in wildlife conservation and heritage management*. Proceedings of the 9th ICAZ Conference, Durham 2002. R. C. G. M. Lauwerier e I. Plug (eds.). Oxbow Books, Oxford, UK.

Arroyo-Cabrales, J., O. J. Polaco y E. Johnson. 2005. La mastofauna del cuaternario tardío de México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Sudirección de Laboratorios y Apoyo Académico. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. G012. México D. F.

——. 2003. The distribution of the genus Mammuthus in Mexico. pp. 27-39. En: *Advances in Mammoth Research* (Proceedings of the Second International Mammoth Conference, Rotterdam, May 16-20 1999). J. W. F. Reumer, J. De Vos y D. Mol (eds.). DEINSEA 9: 1-570.

——. 2009. Providing a National Perspective on Quaternary Mammals through a Mexican Database. *The SAA Archaeological Record* 9: 21-23.

Ceballos, G. y G. Oliva (coords.). 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. CONABIO, México.

Ceballos, G., J. Arroyo-Cabrales y E. Ponce. 2010. Effects of Pleistocene environmental changes on the distribution and community structure of the mammalian fauna of Mexico. *Quaternary Research* 73: 464-473.

Chávez, C., G. Ceballos, R. List, I. Salazar y L.A. Espinosa Ávila. 2009. Mamíferos. pp. 145-152. En: *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de caso*. G. Ceballos, R. List, G. Garduño, R. López Cano, M. J. Muñozcano Quintanar, E. Collado y J. Eivin San Román (coords.). Biblioteca Mexiquense del Bicentenario, Colección Mayor, Gobierno del Estado de México, Toluca de Lerdo.

Corona-M., E., M. Montellano-Ballesteros y J. Arroyo-Cabrales. 2008. A concise history of Mexican Paleomammalogy. *Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro* 66(1):179-189.

Ferrusquía-Villafranca, I., J. Arroyo-Cabrales, E. Martínez-Hernández, *et al.* 2010. Pleistocene mammals of Mexico: A critical review of regional chronofaunas, climate change response and biogeographic provinciality. *Quaternary Research* 217: 53-104.

González, S., J.C. Jiménez-López, R. Hedges, D. Huddart, J.C. Ohman, A. Turner y J.A. Pompa y Padilla. 2003. Earliest humans in the Americas: new evidence from México. *Journal of Human Evolution* 44: 379-387.

Hortelano-Moncada, Y., F.A. Cervantes y A. Trejo-Ortiz. 2009. Mamíferos silvestres de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad Universitaria, UNAM, Mexico, D.F. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 507-520.

Johnson, E., J. Arroyo-Cabrales y O.J. Polaco. 2006. Climate, environment, and game animal resources of the late Pleistocene Mexican grassland. pp. 231-245. En: *El hombre temprano y sus implicaciones en el poblamiento de la cuenca de México*. Primer Simposio Internacional. J. C. Jiménez López, S. González, J. A. Pompa y Padilla y F. Ortiz Pedraza (coords.). *Colección Científica*, INAH 500: 1-274.

Lorenzo, J.L. y L. Mirambell. 1986. Preliminary report on archaeological and paleoenvironmental studies in the area of El Cedral, San Luis Potosí, México, 1977-1980. pp. 107-113. En: *New evidence for the Pleistocene peopling of the Americas* A. L. Bryan (ed.). Center for the Study of the Early Man, University of Maine, Orono, Peopling of the Americas series.

Navarro Frías, J., N. González Ruiz y S.T. Álvarez Castañeda. 2007. Los mamíferos silvestres de Milpa Alta, Distrito Federal: lista actualizada y consideraciones para su conservación. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie) 23(3): 103-124.

Conclusión

Joaquín Arroyo Cabrales
Felisa Josefina Aguilar Arellano

El conocimiento de la diversidad biológica que existió durante el pleistoceno e inicios del holoceno en el territorio que hoy denominamos Ciudad de México en general es muy pobre. Esto se debe, por un lado, a que gran parte de su territorio estuvo cubierto por agua y, por otro, a los pocos estudios que se han realizado, a las escasas excavaciones sistemáticas y a la prioridad en la recuperación de materiales más grandes (*e. g.* restos de vertebrados de gran talla). Por consiguiente, hay poca información publicada al respecto.

Es por ello que se hizo un análisis integral de la paleodiversidad del pleistoceno en la cuenca de México, principalmente de la orilla oriental, límite que hoy pertenece al Estado de México donde se desarrolló una abundante flora y fauna. Considerando los diferentes grupos biológicos analizados en este capítulo, se observó que los últimos 35 mil años han dejado diversas evidencias paleoclimáticas en la región que muestran variaciones importantes en el medio ambiente. Estos cambios incluyen la predominancia del clima frío con humedad variable (desde húmeda hasta seca) que, aunada a una intensa actividad volcánica entre los 23 mil y 22 mil años, dio como resultado la alteración en los niveles de los lagos. De hecho, uno de ellos (lago de Chalco) cambió de un sistema salino a uno de agua dulce. El ecosistema dominante dentro de la región fue el pastizal, con zonas de bosques de pino y encino en las partes altas. Ferrusquía-Villafranca y colaboradores (2010) acotan que para el intervalo de 22 mil a 10 mil años antes del presente (AP) y, con base en los registros de palinoflora, paleosuelos y mastofauna que presentan, el clima debió ser más húmedo y frío, mientras que para el holoceno temprano el clima se tornó más seco y cálido. Sin embargo, se necesita de estudios más específicos para el territorio de la Ciudad de México para comprender las transformaciones medioambientales del mismo, aspecto que sólo se podrá realizar si se hacen convenios con las empresas constructoras y otras que realicen excavaciones del subsuelo para obtener muestras de sedimentos que sean analizadas *a posteriori* por investigadores especializados en geología (sedimentología, química de suelos, geología estructural y tectónica), botánica, zoología y paleontología.

Referencias

Ferrusquía-Villafranca, I., J. Arroyo-Cabrales, E. Martínez-Hernández, *et al.* 2010. Pleistocene mammals of Mexico: A critical review of regional chronofaunas, climate change response and biogeographic provinciality. *Quaternary Research* 217:53-104.

Arroyo-Cabrales, J. y F.J. Aguilar. 2016. Conclusión. Diversidad del pasado. En: *La biodiversidad en la Ciudad de México*, vol. I CONABIO/SEDEMA, México. p. 341.

La biodiversidad en la Ciudad de México
VOLUMEN I

Se terminó de imprimir en 2016
en Corporación Mexicana de Impresión, S.A. de C.V. COMISA
General Victoriano Zepeda No. 22, Col. Observatorio 11860,
Ciudad de México
Se imprimieron 1738 ejemplares

9 786078 328710

CONABIO
COMISIÓN NACIONAL PARA EL
CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

CDMX
CIUDAD DE MÉXICO

SEDEMA